

Pengaruh Serat Kaca terhadap Perilaku Lentur Beton

Muhammad Yazid^{1*}, Doni Rinaldi Basri¹, Tony Hartono Bagio¹, Yoga Aulia Nanda¹, Astuti Masdar²

¹ Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Abdurrah, Pekanbaru, Riau, Indonesia

² Teknik Sipil, Sekolah Tinggi Teknologi Payakumbuh, Sumatera Barat, Indonesia

*Correspondent author : muhammad.yazid@univrab.ac.id

Diterima: 28 Februari 2026, Direvisi: 15 Maret 2026, Diterima untuk dipublikasikan: 18 April 2026

Abstrak – Beton merupakan material konstruksi yang memiliki kuat tekan tinggi, namun masih memiliki kelemahan berupa perilaku getas dan kapasitas tarik yang relatif rendah. Kondisi ini menyebabkan beton rentan mengalami retak serta penurunan kinerja pada elemen struktur yang bekerja menahan lentur, seperti balok. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kemampuan beton dalam menahan beban lentur adalah dengan menambahkan serat fiberglass sebagai penguat internal pada campuran beton. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan fiberglass terhadap kinerja lentur balok beton serta menentukan kadar fiberglass optimum yang mampu meningkatkan kapasitas lentur tanpa menurunkan kualitas beton. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen laboratorium dengan beton mutu rencana 35 MPa. Fiberglass ditambahkan ke dalam campuran beton dengan variasi kadar 0%, 0,5%, 0,75%, dan 1,0% dari total berat campuran. Sebanyak 15 benda uji balok berukuran 150 × 150 × 600 mm dibuat dan dirawat hingga umur 21 hari. Pengujian kuat lentur dilakukan menggunakan metode pembebanan dua titik (two-point loading), kemudian hasil pengujian dibandingkan antarvariasi untuk mengidentifikasi perubahan kapasitas lentur dan menentukan kadar fiberglass yang memberikan kinerja terbaik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan fiberglass berpengaruh terhadap peningkatan kuat lentur balok beton hingga kadar tertentu. Kadar optimum diperoleh pada variasi 0,75%, yang menghasilkan peningkatan kuat lentur sebesar 2,5% dibandingkan beton normal dan memenuhi persyaratan minimum Bina Marga. Sebaliknya, penambahan fiberglass sebesar 1,0% menyebabkan penurunan kuat lentur akibat menurunnya workability dan terjadinya penggumpalan serat. Selain itu, penggunaan fiberglass mampu mengurangi berat sendiri balok hingga 10,8%, sehingga berpotensi meningkatkan efisiensi struktural dan kinerja elemen beton.

Kata kunci: Beton serat, fiberglass, kuat lentur, balok beton, efisiensi struktural.

Abstract – Concrete is a construction material with high compressive strength, but it still has weaknesses in the form of brittle behavior and relatively low tensile capacity. These conditions make concrete prone to cracking and reduced performance in structural elements that resist bending, such as beams. One approach to improving concrete's ability to resist bending loads is to add fiberglass fibers as internal reinforcement to the concrete mix. Therefore, this study aims to analyze the effect of adding fiberglass on the flexural performance of concrete beams and to determine the optimum fiberglass content capable of improving flexural capacity without compromising concrete quality. This study employs a laboratory experimental method using concrete with a design strength of 35 MPa. Fiberglass was added to the concrete mix at varying concentrations of 0%, 0.5%,

0.75%, and 1.0% of the total mix weight. A total of 15 test specimens, each measuring 150 × 150 × 600 mm, were cast and cured for 21 days. Flexural strength testing was conducted using the two-point loading method; the test results were then compared across the variations to identify changes in flexural capacity and determine the fiberglass content that provides the best performance. The results of the study indicate that the addition of fiberglass increases the flexural strength of concrete beams up to a certain content. The optimal content was found at 0.75%, which resulted in a 2.5% increase in flexural strength compared to normal concrete and met the minimum requirements of the Indonesian Ministry of Public Works and Public Housing. Conversely, adding 1.0% fiberglass caused a decrease in flexural strength due to reduced workability and fiber clumping. Furthermore, the use of fiberglass reduces the self-weight of the beam by up to 10.8%, thereby potentially improving structural efficiency and the performance of concrete elements.

Keywords: fiber-reinforced concrete, fiberglass, flexural strength, concrete beam, structural efficiency.

1. PENDAHULUAN

Beton merupakan material konstruksi yang paling banyak digunakan dalam pembangunan infrastruktur modern karena memiliki kuat tekan yang tinggi, durabilitas yang baik, ketersediaan material yang melimpah, serta biaya yang relatif ekonomis [1], [2], [3], [4]. Meskipun demikian, beton memiliki sifat getas dan kuat tarik yang relatif rendah sehingga rentan mengalami retak ketika menerima beban tarik maupun lentur. Kelemahan ini menjadi sangat penting pada elemen struktur seperti balok, pelat, dan perkerasan yang bekerja menahan tegangan tarik akibat pembebanan. Ketika tegangan tarik yang terjadi melampaui kapasitas beton, retak akan mulai terbentuk dan berkembang dengan cepat, yang dapat menyebabkan penurunan kekakuan, berkurangnya umur layan struktur, serta meningkatkan risiko kegagalan struktural [5].

Berbagai upaya telah dilakukan untuk mengatasi kelemahan tersebut, salah satunya melalui penambahan serat ke dalam campuran beton. Beton serat (fiber-reinforced concrete) merupakan material komposit yang mengandung serat diskrit yang tersebar secara acak di dalam matriks beton. Kehadiran serat berfungsi sebagai penghubung (bridging) pada retak-retak mikro sehingga mampu menghambat perkembangan retak, mendistribusikan tegangan secara lebih merata, serta meningkatkan daktilitas, ketangguhan, dan perilaku pasca-retak beton [6], [7], [8], [9]. Berbagai jenis serat telah digunakan sebagai bahan penguat beton, antara lain serat baja, serat sintetis, serat alami, dan serat kaca (glass fiber).

Di antara berbagai jenis serat tersebut, fiberglass memperoleh perhatian yang semakin besar karena memiliki kuat tarik yang tinggi, tahan terhadap korosi, ringan, serta memiliki kemampuan ikatan yang baik dengan matriks semen [10]. Penambahan fiberglass ke dalam campuran beton dilaporkan mampu meningkatkan pengendalian retak dan kapasitas lentur sekaligus mengurangi berat sendiri elemen struktur. Selain itu, fiberglass relatif mudah dicampurkan ke dalam beton dan tersedia dengan biaya yang kompetitif, sehingga berpotensi menjadi alternatif material penguat internal yang efektif dalam meningkatkan efisiensi struktural.

Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penggunaan serat kaca dapat meningkatkan kuat lentur, ketangguhan, dan kinerja mekanis beton maupun material komposit lainnya [10], [11]. Namun demikian, sebagian besar penelitian masih berfokus pada penggunaan Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) sebagai perkuatan eksternal atau pada pengujian spesimen skala laboratorium yang relatif kecil [12], [13]. Penelitian mengenai penggunaan fiberglass sebagai penguat internal pada balok beton struktural masih terbatas, khususnya terkait penentuan kadar optimum serat dan pengaruhnya terhadap perilaku lentur. Hasil penelitian yang ada juga menunjukkan bahwa penggunaan serat dalam jumlah berlebihan dapat menurunkan kinerja beton akibat berkurangnya kemudahan pengerjaan (*workability*) serta terjadinya penggumpalan serat (*fiber agglomeration*) yang membentuk zona-zona lemah di dalam matriks beton [10], [11], [14].

Berdasarkan kondisi tersebut, diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengevaluasi efektivitas fiberglass sebagai material penguat internal pada balok beton. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan fiberglass sebagai penguat internal terhadap kinerja lentur balok beton dengan kuat tekan rencana 35 MPa. Secara khusus, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi perubahan kuat lentur balok beton akibat variasi kadar fiberglass sebesar 0%, 0,5%, 0,75%, dan 1,0% dari total berat campuran, menentukan kadar fiberglass optimum yang mampu memberikan peningkatan kuat lentur terbaik, serta mengkaji pengaruhnya terhadap berat sendiri balok sebagai indikator efisiensi struktural. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk menilai kemampuan beton yang diperkuat fiberglass dalam memenuhi atau melampaui persyaratan kuat lentur minimum yang ditetapkan oleh Bina Marga, sehingga dapat diketahui potensi pemanfaatan fiberglass sebagai material penguat internal yang efektif untuk menghasilkan elemen struktur beton yang lebih ringan, efisien, dan memiliki kinerja lentur yang lebih baik..

2. METODE PENELITIAN

2.1 Material

Semen Portland Tipe I (*Ordinary Portland Cement* atau OPC) digunakan sebagai bahan pengikat utama dalam penelitian ini [7]. Pasir sungai alami digunakan sebagai agregat halus, sedangkan batu pecah dengan gradasi ukuran butir BP 2–3 cm dan BP 1–2 cm digunakan sebagai agregat kasar untuk memastikan kepadatan susunan agregat yang baik serta menghasilkan kinerja mekanis yang optimal. Air bersih yang memenuhi persyaratan air minum digunakan untuk proses pencampuran dan perawatan (*curing*) beton guna menjaga konsistensi campuran serta menghindari adanya zat pengotor yang dapat memengaruhi proses hidrasi dan perkembangan kuat beton. Serat fiberglass potong

(*chopped fiberglass fibers*) terlihat pada gambar 1, ditambahkan ke dalam matriks beton sebagai penguat internal untuk meningkatkan pengendalian retak dan kinerja mekanis beton [10]. Campuran beton dirancang untuk mencapai kuat tekan rencana ($f'c$) sebesar 35 MPa, yang merepresentasikan beton struktural mutu normal yang umum digunakan pada konstruksi bangunan dan infrastruktur.



Gambar 1. Serat fiberglass

2.2 Metode

Total massa material yang dibutuhkan untuk satu kali pencampuran (*batch*), yang digunakan untuk membuat tiga benda uji balok, adalah sebesar 40,31 kg. Serat fiberglass ditambahkan ke dalam campuran beton dengan variasi kadar tertentu berdasarkan persentase terhadap total massa campuran. Untuk menjaga agar total massa campuran tetap konstan serta mempertahankan konsistensi desain campuran, penambahan fiberglass diimbangi dengan pengurangan proporsional pada material penyusun lainnya. Dengan pendekatan ini, pengaruh variasi kadar fiberglass terhadap kinerja beton dapat dievaluasi secara lebih akurat tanpa adanya perubahan signifikan pada komposisi total campuran.

Tabel 1 dibawah menunjukkan komposisi campuran beton yang digunakan dalam penelitian ini. Variasi kadar fiberglass ditetapkan sebesar 0%, 0,5%, 0,75%, dan 1,0% dari total massa campuran. Untuk menjaga total berat campuran tetap konstan sebesar 40,31 kg pada setiap variasi, penambahan fiberglass diimbangi dengan pengurangan proporsional pada jumlah semen, air, agregat kasar, dan agregat halus. Pendekatan ini dilakukan agar pengaruh yang diamati terhadap sifat mekanis beton, khususnya kuat lentur, terutama disebabkan oleh variasi kadar fiberglass dan bukan oleh perubahan total komposisi campuran. Rincian komposisi campuran beton untuk setiap variasi kadar fiberglass disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Campuran Beton
(*Concrete Mix Design Composition*)

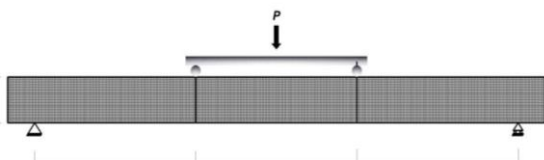
Fiberglass (%)	Semen (kg)	Air (kg)	Agregat Kasar (kg)	Agregat Halus (kg)	Fiberglass (kg)	Total (kg)
0,00	7,59	3,04	17,80	11,87	0,00	40,31
0,50	7,56	3,02	17,72	11,81	0,20	40,31
0,75	7,54	3,01	17,68	11,78	0,30	40,31
1,00	7,52	3,01	17,62	11,75	0,40	40,31

2.3 Metode Pengujian

Kinerja lentur balok beton dievaluasi menggunakan Hydraulic Concrete Beam Testing Machine dengan metode pembebanan dua titik (*two-point loading*). Metode ini dipilih untuk menghasilkan distribusi momen lentur yang seragam

pada daerah momen konstan (constant moment region) sehingga perilaku lentur balok dapat diamati secara lebih representatif. Benda uji balok ditempatkan pada tumpuan dan dibebani sesuai dengan prosedur pengujian yang berlaku hingga mencapai kondisi runtuh (failure). Selama proses pengujian, beban maksimum yang mampu ditahan oleh masing-masing benda uji dicatat untuk menentukan kapasitas lenturnya. Nilai kuat lentur setiap spesimen kemudian dihitung berdasarkan ketentuan yang tercantum dalam SNI 4431:2011 tentang Cara Uji Kuat Lentur Beton Normal dengan Dua Titik Pembebanan, sehingga hasil pengujian yang diperoleh memiliki tingkat konsistensi, akurasi, dan keandalan yang sesuai dengan standar nasional yang berlaku. Selain itu, penggunaan metode pembebanan dua titik memungkinkan evaluasi yang lebih tepat terhadap pengaruh penambahan fiberglass terhadap peningkatan kapasitas lentur dan perilaku retak balok beton.

Gambar 2 dibawah ini menunjukkan skema pengujian kuat lentur balok beton menggunakan metode empat titik pembebanan (four-point flexural test). Pada metode ini, beban diterapkan pada dua titik yang berjarak sama dari titik tengah bentang sehingga menghasilkan daerah momen lentur konstan di antara kedua titik pembebanan. Konfigurasi ini memungkinkan evaluasi yang lebih akurat terhadap perilaku lentur balok karena tegangan lentur maksimum terjadi pada daerah momen konstan tanpa dipengaruhi secara signifikan oleh gaya geser. Pengujian dilakukan hingga benda uji mengalami keruntuhan, dan beban maksimum yang tercatat digunakan untuk menghitung nilai kuat lentur sesuai dengan ketentuan SNI 4431:2011. Metode empat titik pembebanan dipilih karena mampu memberikan representasi yang lebih baik terhadap kinerja lentur balok beton serta memudahkan pengamatan pola retak dan mekanisme kegagalan akibat pembebanan lentur.



Gambar 2. Pengujian Kuat Lentur Balok dengan Metode Empat Titik Pembebanan (Four-Point Flexural Test)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Kuat tekan

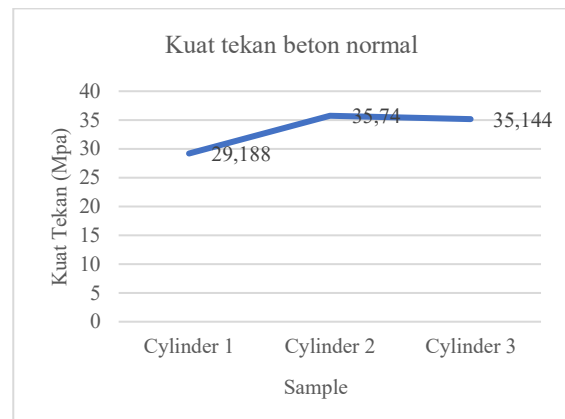
Kuat tekan beton diverifikasi melalui pengujian tekan standar yang dilakukan pada benda uji silinder kontrol pada umur 21 hari. Hasil pengujian menunjukkan bahwa beton mencapai kuat tekan rata-rata sebesar 35,44 MPa, yang menunjukkan kesesuaian yang sangat baik dengan kuat tekan rencana ($f_c = 35$ MPa). Hasil ini mengonfirmasi bahwa desain campuran beton dan metode perawatan (curing) yang diterapkan telah mampu menghasilkan mutu beton sesuai dengan yang direncanakan. Dengan tercapainya kuat tekan target tersebut, pengaruh variabel lain terhadap kinerja beton, khususnya penambahan fiberglass sebagai penguat internal, dapat dievaluasi secara lebih akurat. Oleh karena itu, hasil pengujian kuat tekan ini menjadi dasar yang andal untuk menganalisis pengaruh penambahan fiberglass terhadap perilaku lentur dan kinerja struktural benda uji balok pada penelitian ini.

Berdasarkan data pengujian kuat tekan silinder beton umur 21 hari, diperoleh hasil sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder Umur 21 Hari

No	Jenis Benda Uji	Fiberglass	Umur (Hari)	Faktor Konversi	Berat (kg)	Beban Maksimum, P (kN)	Kuat Tekan (MPa)
1	Silinder	0%	21	0,95	12,71	490	29,19
2	Silinder	0%	21	0,95	12,96	600	35,74
3	Silinder	0%	21	0,95	12,91	590	35,14

Berdasarkan grafik Normal Concrete Strength, terlihat bahwa hasil pengujian kuat tekan beton normal pada umur 21 hari menunjukkan nilai yang relatif konsisten, yaitu sebesar 29,19 MPa, 35,74 MPa, dan 35,14 MPa untuk masing-masing benda uji silinder. Nilai kuat tekan tertinggi diperoleh pada Silinder 2 sebesar 35,74 MPa, sedangkan nilai terendah tercatat pada Silinder 1 sebesar 29,19 MPa. Perbedaan nilai ini dapat disebabkan oleh variasi lokal pada proses pencampuran, pemadatan, maupun kondisi pengujian. Meskipun demikian, dua dari tiga benda uji berhasil mencapai kuat tekan yang sangat dekat dengan kuat tekan rencana sebesar 35 MPa.



Gambar 3. Kuat tekan bata beton normal

3.2 Kuat Lentur Beton

Kuat lentur beton ditentukan berdasarkan hasil pengujian lentur menggunakan metode pembebanan dua titik (two-point loading) pada benda uji balok setelah mencapai umur perawatan yang telah ditetapkan, yaitu 21 hari. Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan balok beton dalam menahan tegangan tarik akibat momen lentur hingga mencapai kondisi retak dan keruntuhan. Nilai kuat lentur dihitung berdasarkan beban maksimum yang mampu ditahan oleh masing-masing benda uji sesuai dengan ketentuan SNI 4431:2011.

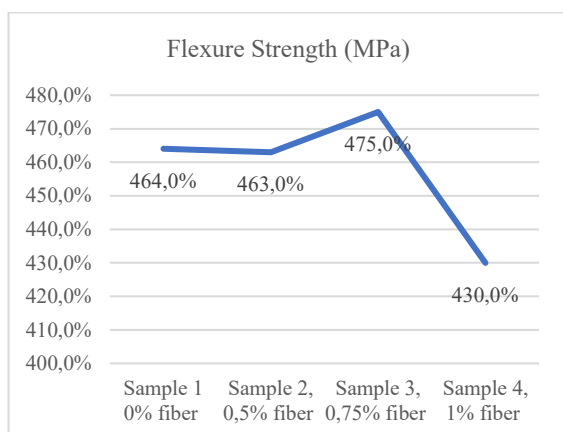
Hasil pengujian pada balok beton normal (tanpa fiberglass) menunjukkan perilaku yang relatif konsisten dan digunakan sebagai nilai acuan (control) untuk membandingkan kinerja balok yang diperkuat dengan fiberglass. Nilai kuat lentur yang diperoleh mengindikasikan bahwa beton telah mencapai kinerja lentur yang sesuai dengan mutu beton yang direncanakan, yaitu kuat tekan

sebesar 35 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa desain campuran, proses pembuatan benda uji, serta metode perawatan yang diterapkan telah berhasil menghasilkan beton dengan kualitas yang memenuhi target penelitian.

Selain itu, hasil pengujian balok kontrol memberikan dasar yang andal untuk mengevaluasi pengaruh penambahan fiberglass terhadap kapasitas lentur beton. Dengan adanya nilai acuan yang representatif, perubahan kuat lentur yang terjadi pada balok dengan variasi kadar fiberglass dapat dianalisis secara lebih objektif, sehingga efektivitas fiberglass sebagai material penguat internal dalam meningkatkan kinerja lentur balok beton dapat ditentukan secara akurat. Hasil pengujian kuat lentur bisa dilihat di tabel 3 dan Gambar 4.

Tabel 3. Hasil Pengujian Kuat Lentur Balok Beton

Variasi Fiberglass (%)	Hasil Kuat	
	Lentur (MPa)	Rata-rata (MPa)
0,00	4,476	4,635
0,00	4,794	
0,50	3,850	4,304
0,50	4,758	
0,75	5,058	4,750
0,75	4,442	
1,00	4,570	4,635
1,00	4,700	



Gambar 4. Kuat lentur berbagai variasi fiberglass

3.3 Pengurangan Berat Balok

Rata-rata berat benda uji balok dicatat untuk mengevaluasi pengaruh penambahan fiberglass terhadap berat sendiri (self-weight) balok beton. Sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4, balok beton normal tanpa penambahan fiberglass memiliki berat rata-rata sebesar 33,45 kg. Penambahan fiberglass ke dalam campuran beton menghasilkan penurunan berat balok yang cukup signifikan. Pada kadar fiberglass 0,5% dan 0,75%, berat rata-rata balok masing-masing menjadi 32,17 kg dan 32,26 kg, yang setara dengan pengurangan berat sebesar 3,84% dan 3,56% dibandingkan dengan balok kontrol.

Penurunan berat yang lebih besar terjadi pada kadar fiberglass 1,0%, di mana berat rata-rata balok berkurang menjadi 29,84 kg. Nilai tersebut menunjukkan pengurangan berat sebesar 10,80% dibandingkan dengan balok tanpa fiberglass. Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan kadar

fiberglass dalam campuran beton berkontribusi terhadap peningkatan efisiensi berat struktur. Pengurangan berat sendiri balok menjadi salah satu keuntungan penting dalam aplikasi konstruksi karena dapat mengurangi beban mati (dead load) yang harus ditahan oleh struktur, sehingga berpotensi meningkatkan efisiensi desain dan mengurangi kebutuhan material pada elemen struktural lainnya. Oleh karena itu, penggunaan fiberglass tidak hanya berpotensi meningkatkan kinerja mekanis beton, tetapi juga memberikan manfaat tambahan berupa pengurangan berat elemen struktur tanpa mengorbankan kapasitas lenturnya secara signifikan.

Tabel 4. Pengaruh Penambahan Fiberglass terhadap Berat Balok Beton

Kadar Fiberglass (%)	Berat Rata-rata Balok (kg)	Pengurangan Berat (%)
0,00	33,45	0,00
0,50	32,17	3,84
0,75	32,26	3,56
1,00	29,84	10,80

3.4 Pengaruh Fiberglass terhadap Kinerja Beton

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan fiberglass mengubah beton menjadi material komposit yang memiliki kinerja lentur lebih baik dibandingkan beton normal. Sebelum terjadi retak, seluruh variasi campuran menunjukkan perilaku yang relatif sama karena sifat elastis beton masih didominasi oleh matriks semen dan agregat. Namun, setelah retak mulai terbentuk, fiberglass berperan sebagai penghubung retak (crack bridging) yang membantu mendistribusikan tegangan, menghambat propagasi retak, dan meningkatkan ketangguhan beton.

Kinerja optimum diperoleh pada kadar fiberglass 0,75%, dengan peningkatan kuat lentur sebesar 2,5% dibandingkan beton normal dan mampu melampaui persyaratan minimum Bina Marga sebesar 4,5 MPa. Pada kadar ini, serat tersebar cukup merata sehingga membentuk jaringan penguat yang efektif tanpa mengurangi kemudahan pengerjaan campuran. Sebaliknya, pada kadar 0,5%, jumlah serat belum cukup untuk memberikan peningkatan yang signifikan, sedangkan pada kadar 1,0% terjadi penurunan kuat lentur sebesar 7,2% akibat berkurangnya workability, terjadinya penggumpalan serat (fiber agglomeration), serta melemahnya ikatan antara serat dan matriks beton.

Selain memengaruhi kinerja lentur, penambahan fiberglass juga menurunkan berat sendiri balok hingga 10,80%. Pengurangan berat ini meningkatkan efisiensi struktural karena menghasilkan rasio kekuatan terhadap berat (strength-to-weight ratio) yang lebih baik. Kondisi tersebut memberikan keuntungan pada struktur bentang panjang, elemen pracetak, maupun struktur tahan gempa yang memerlukan pengurangan beban mati.

Dari aspek durabilitas, fiberglass memiliki ketahanan korosi yang baik serta mampu mengendalikan perkembangan retak, sehingga berpotensi meningkatkan umur layan struktur. Secara keseluruhan, penelitian ini membuktikan bahwa fiberglass merupakan material penguat internal yang efektif untuk meningkatkan kinerja lentur, mengurangi kerapuhan beton, serta meningkatkan efisiensi struktural melalui pengurangan berat sendiri. Hasil tersebut menunjukkan bahwa fiberglass memiliki potensi yang baik untuk diaplikasikan pada elemen beton yang membutuhkan

kombinasi antara kekuatan, ketahanan retak, dan efisiensi berat

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan fiberglass sebagai penguat internal berpengaruh terhadap kinerja lentur dan karakteristik fisik balok beton. Kadar fiberglass optimum diperoleh pada 0,75%, yang mampu meningkatkan kuat lentur sebesar 2,5% dibandingkan beton normal serta menghasilkan kuat lentur 4,75 MPa, atau 5,56% lebih tinggi dari persyaratan minimum Bina Marga sebesar 4,5 MPa. Peningkatan ini terjadi karena mekanisme crack bridging yang mampu menghambat perkembangan retak dan meningkatkan transfer tegangan dalam matriks beton. Sebaliknya, penambahan fiberglass sebesar 1,0% menyebabkan penurunan kuat lentur sebesar 7,2% akibat berkurangnya workability, terjadinya penggumpalan serat (fiber agglomeration), dan melemahnya ikatan antara serat dan matriks beton. Selain meningkatkan kinerja lentur, penggunaan fiberglass juga mampu mengurangi berat sendiri balok hingga 10,80%, sehingga meningkatkan efisiensi struktural melalui rasio kekuatan terhadap berat yang lebih tinggi. Fiberglass terbukti efektif sebagai material penguat internal untuk meningkatkan ketahanan retak, mengurangi sifat getas beton, dan menghasilkan elemen struktur yang lebih ringan serta lebih efisien, sehingga berpotensi diaplikasikan pada berbagai konstruksi beton yang memerlukan kinerja lentur dan durabilitas yang lebih baik.

REFERENSI

- [1] L. Xu et al., "Effects of Fiber and Surface Treatment on Airport Pavement Concrete against Freeze-Thawing and Salt Freezing," *Materials*, vol. 15, no. 21, p. 7528, Oct. 2022, doi: 10.3390/ma15217528.
- [2] Mr. A. M. Godbole et al., "Experimental Study on Glass Fibre Reinforced Concrete," *Int. J. Res. Publ. Rev.*, vol. 4, no. 4, pp. 4928–4931, Apr. 2023, doi: 10.55248/gengpi.234.4.38123.
- [3] S. Teng, V. Afrouhsabet, and C. P. Ostertag, "Flexural behavior and durability properties of high performance hybrid-fiber-reinforced concrete," *Constr. Build. Mater.*, vol. 182, pp. 504–515, Sep. 2018, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.06.158.
- [4] B. Ali and L. A. Qureshi, "Influence of glass fibers on mechanical and durability performance of concrete with recycled aggregates," *Constr. Build. Mater.*, vol. 228, p. 116783, Dec. 2019, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.116783.
- [5] H. Alguhi and D. Tomlinson, "Crack behaviour and flexural response of steel and chopped glass fibre-reinforced concrete: Experimental and analytical study," *J. Build. Eng.*, vol. 75, p. 106914, Sep. 2023, doi: 10.1016/j.job.2023.106914.
- [6] C. Zhang et al., "Advanced impact resistance design through 3D-Printed concrete technology: Unleashing the potential of additive manufacturing for protective structures," *J. Build. Eng.*, vol. 111, p. 113533, Oct. 2025, doi: 10.1016/j.job.2025.113533.
- [7] S. N. Abbas, M. I. Qureshi, M. M. Abid, A. Zia, and M. A. U. R. Tariq, "An Investigation of Mechanical Properties of Fly Ash Based Geopolymer and Glass Fibers Concrete," *Sustainability*, vol. 14, no. 17, p. 10489, Aug. 2022, doi: 10.3390/su141710489.
- [8] Dr. A. K. Rao, "Analyzing Strength Parameters in Fiber-Reinforced Concrete: Compressive, Tensile & Flexural Strength Evaluation," *Int. J. Res. Appl. Sci. Eng. Technol.*, vol. 12, no. 4, pp. 2693–2697, Apr. 2024, doi: 10.22214/ijraset.2024.60465.
- [9] A. Jan, Z. Pu, K. A. Khan, I. Ahmad, and I. Khan, "Effect of Glass Fibers on the Mechanical Behavior as Well as Energy Absorption Capacity and Toughness Indices of Concrete Bridge Decks".
- [10] Civil engineering department, Hyderabad, India., T. sai K. Teja*, T. S. Krishna, civil department, Aditya engineering college, surampalem, india., S. N. Khadri, and civil department, Aditya college of engineering , surampalem, india., "Mechanical Properties of Glass Fiber Concrete with Different Dosages of Glass Fiber," *Int. J. Recent Technol. Eng. IJRTE*, vol. 8, no. 5, pp. 3916–3919, Jan. 2020, doi: 10.35940/ijrte.E6522.018520.
- [11] Z. Yuan and Y. Jia, "Mechanical properties and microstructure of glass fiber and polypropylene fiber reinforced concrete: An experimental study," *Constr. Build. Mater.*, vol. 266, p. 121048, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.121048.
- [12] W. Yang et al., "1 Effect of glass fiber on flexural performance of GFRP-RC 2 beams under sustained loading and alkaline environment: 3 Experimental, numerical and analytical investigations".
- [13] M. Mastali, A. Dalvand, and A. R. Sattarifard, "The impact resistance and mechanical properties of reinforced self-compacting concrete with recycled glass fibre reinforced polymers," *J. Clean. Prod.*, vol. 124, pp. 312–324, Jun. 2016, doi: 10.1016/j.jclepro.2016.02.148.
- [14] P. Sasikumar and K. Candassamy, "Strengthening of flexural behavior of reinforced concrete beams by using hybrid fibers: experimental and analytical study," *Rev. Constr.*, vol. 23, no. 2, pp. 354–373, Aug. 2024, doi: 10.7764/RDLC.23.2.354.