

KAJIAN EKSPERIMENTAL PENAMBAHAN SERAT BAMBU DAN ROTAN TERHADAP KUAT LENTUR BIO FIBER-ECC BERBASIS FLY ASH DAN ABU CANGKANG SAWIT

Syahirah Dalila Harahap¹⁾, Nursyamsi²⁾, Muhammad Aswin³⁾

¹⁾Mahasiswa Program Sarjana Teknik Sipil, Universitas Sumatera Utara

^{2,3)}Staf Pengajar Program Sarjana Teknik Sipil, Universitas Sumatera Utara

syahirahdalila.01@gmail.com; nursyamsi@usu.ac.id; muhammad.aswin@usu.ac.id

Abstrak

Engineered Cementitious Composite (ECC) merupakan material komposit inovatif yang terdiri dari semen, pasir, air, bahan aditif, dan material cementitious tambahan tanpa agregat kasar. Keunggulan utama ECC terletak pada kemampuannya menahan beban lentur dan retak mikro melalui penambahan serat. Dalam penelitian ini, digunakan serat bambu dan rotan sebagai bio fiber alami yang bersumber dari material lokal. Tujuan penelitian adalah untuk mengevaluasi pengaruh variasi kadar (1%, 1,5%, dan 2%) serta panjang serat (0,5 cm dan 1 cm) terhadap kekuatan lentur mortar ECC. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan serat alami secara umum meningkatkan kekuatan lentur. Performa terbaik dicapai pada kadar 1,5% dan panjang 0,5 cm, khususnya pada serat rotan yang mencapai 6,909 MPa pada umur 3 hari, meningkat 120% dari kontrol. Serat bambu memberikan peningkatan tertinggi pada variasi yang sama yaitu hingga 3,565 Mpa meningkat 113% pada umur 3 hari, meski performanya sedikit lebih rendah dari rotan. Penurunan kinerja pada kadar 2% diduga akibat distribusi serat yang tidak merata. Secara keseluruhan, serat bambu dan rotan berpotensi sebagai bahan penguat berkelanjutan untuk meningkatkan performa ECC.

Kata Kunci : *Engineered Cementitious Composites (ECC), Serat Bambu, Serat Rotan, Kekuatan Lentur.*

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan akan material bangunan yang ramah lingkungan dan berkelanjutan mendorong penelitian dalam pengembangan material komposit seperti *Engineered Cementitious Composites (ECC)*. ECC dikenal dengan kemampuan daktilitas dan ketahanan retaknya yang tinggi. Pada penelitian (V. Li, 2003), ECC menunjukkan keuletan dengan perilaku retak ECC yang mempertahankan lebar retak di bawah 100 μm , bahkan di bawah regangan tarik beberapa persen. Namun, penggunaan serat sintesis seperti PVA dan polimer lainnya dalam ECC dapat meningkatkan biaya dan ketergantungan terhadap bahan tidak terbarukan. Oleh karena itu, diperlukan alternatif serat alami yang lebih ekonomis dan ramah lingkungan.

Indonesia memiliki potensi besar dalam pemanfaatan sumber daya alam seperti bambu dan rotan yang memiliki karakteristik mekanik cukup baik. Serat bambu dan rotan telah digunakan secara tradisional dalam berbagai konstruksi, namun penggunaannya dalam beton modern masih terbatas. Penggunaan serat alami ini diharapkan dapat meningkatkan sifat mekanik ECC, khususnya kuat lenturnya, serta mengurangi dampak lingkungan dari industri konstruksi.

Selain itu, penggunaan bahan pozolanik seperti *fly ash* dan abu cangkang sawit sebagai substitusi sebagian semen dalam campuran beton dapat mengurangi emisi karbon sekaligus memanfaatkan limbah industri dan pertanian. *Fly ash* dan abu cangkang sawit dapat meningkatkan durabilitas beton serta memberikan kontribusi terhadap kekuatan mekanik yang memadai.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh penambahan serat bambu dan serat rotan terhadap kuat lentur bio *fiber*-ECC berbasis *fly ash* dan abu cangkang sawit. Berbagai variasi kadar dan panjang serat diuji untuk mengetahui karakteristik dan performa optimum dari komposit yang dikembangkan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton Serat

Beton serat adalah jenis beton yang diperkuat dengan serat untuk meningkatkan kekuatan tarik, ketahanan retak, serta daya tahan terhadap beban dinamis. Berdasarkan bahan penyusunnya, beton serat merupakan suatu bahan komposit yang terbuat dari komponen utama seperti agregat halus, agregat kasar, semen, air, dan tambahan serat dalam persentase tertentu. Serat yang ditambahkan ke beton membuatnya lebih tahan terhadap tekanan dan perubahan lingkungan dan meningkatkan sifat mekanisnya.

2.2 *Engineered Cementitious Composites (ECC)*

Engineered Cementitious Composites merupakan jenis *high-performance fiber reinforced cementitious composites (HPFRCC)* yang dikembangkan pada awal 1990-an dari Universitas Michigan yang merupakan inovasi material beton yang menggabungkan kekuatan, ketahanan, dan kecerdasan untuk infrastruktur yang lebih baik (V. Li, 2019). *Fiber*-ECC berkinerja tinggi yang dikembangkan untuk meningkatkan ketahanan struktur terhadap retakan dan deformasi. ECC tidak menggunakan agregat kasar dan umumnya terdiri

dari semen, agregat halus, air, bahan aditif, serta material *cementitious* tambahan seperti *fly ash* atau abu cangkang sawit. Salah satu keunggulan utama ECC adalah kemampuannya dalam mengontrol retakan mikro melalui penambahan serat, yang membuatnya lebih tangguh dan lentur dibandingkan beton konvensional (Park et al., 2020). Untuk memperkuat sifat mekanisnya, ECC dapat dikombinasikan dengan serat sintetis maupun alami seperti bambu dan rotan.

2.3 Fly Ash

Fly ash merupakan hasil samping pembakaran batubara di PLTU yang memiliki kandungan kimia reaktif seperti SiO_2 dan Al_2O_3 , menjadikannya sebagai material pozzolan yang dapat menggantikan sebagian semen dan meningkatkan kekuatan serta ketahanan beton. *Fly Ash* memiliki tingkat risiko lingkungan yang rendah, sehingga layak dimanfaatkan dalam bidang konstruksi, seperti pembuatan paving block, tanpa menimbulkan permasalahan lingkungan yang berarti (Robbani et al., 2023). Penggunaan *fly ash* secara optimal pada campuran dapat membantu meningkatkan kuat tekan dan kuat lentur melebihi beton normal pada umumnya (Yaseen et al., 2023; Cai et al., 2024).

2.4 Abu Cangkang Sawit

Abu cangkang sawit merupakan limbah padat dari industri kelapa sawit, memiliki kandungan silika dan mineral lainnya yang mendukung pembentukan senyawa pengikat dalam pasta semen (Frisda et al., 2022; Hasudungan & Aswin, 2022). Kedua material ini tidak hanya membantu meningkatkan performa beton tetapi juga berkontribusi terhadap pengurangan limbah industri.

2.5 Serat Alami

Serat alami, seperti bambu dan rotan, mulai digunakan sebagai alternatif serat penguat dalam ECC karena berasal dari sumber daya lokal yang terbarukan dan ramah lingkungan. Bambu memiliki kekuatan tarik yang tinggi dan modulus elastisitas yang baik, sementara rotan dikenal lebih fleksibel dan tahan terhadap deformasi, menjadikannya kandidat potensial dalam pengembangan Bio *Fiber-ECC*.

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penambahan serat alami dapat meningkatkan kekuatan tarik dan lentur beton, meskipun efisiensi serat sangat tergantung pada panjang, kadar, serta distribusinya dalam matriks beton (Tjanriady, 2021; Yudha Malfikri, 2021; Hussein, 2023). Oleh karena itu, optimalisasi desain campuran dan teknik pencampuran sangat penting dalam memastikan dispersi serat yang merata dan performa struktural yang maksimal.

Penambahan serat alami seperti bambu dan rotan, serta penggunaan *filler* abu cangkang kerang,

mampu meningkatkan sifat mekanis beton, khususnya kuat tarik belah, kuat tekan, dan kuat lentur, apabila digunakan pada kadar yang tepat. Peningkatan kekuatan ini dipengaruhi oleh kemampuan serat untuk berperan sebagai penahan retak mikro dan meningkatkan ikatan dalam matriks semen, meskipun pada kadar yang terlalu tinggi justru dapat menurunkan kekuatan akibat terbentuknya rongga dan retakan lebih cepat (Yusra et al., 2024; Dwi Lestari, 2022).

Serat alami bambu dan rotan yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Serat bambu dan rotan

2.6 Kuat Lentur

Kuat lentur merupakan salah satu main *mechanical properties* mortar yang mengukur daya tahan material terhadap gaya lentur atau bengkok. Kuat lentur adalah kemampuan benda uji (misalnya balok atau pelat) yang diletakkan pada dua perletakan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji. Uji kuat lentur dilakukan dengan alat laboratorium "*Flexural Strength Testing Machine*" sesuai dengan standar ASTM C293-02 dan SNI 4431-2011 tentang uji kekuatan lentur beton. Pengujian kuat lentur tersebut dapat dilihat seperti Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Pengujian kuat lentur

Kekuatan lentur diukur dari nilai rata-rata tiga sampel dengan metode *four point loading* dan hasil pengujian akan menunjukkan hubungan antara beban dan defleksi. Rumus pengujian kuat lentur berdasarkan SNI 4431-2011, perhitungan kuat lentur beton dihitung sesuai dengan persamaan di bawah ini :

$$\sigma = \frac{PL}{bh^2}$$

Keterangan:

- σ = kekuatan lentur (MPa),
- P = beban lentur maksimum (N),
- L = rentang dukungan (mm),
- b = lebar penampang benda uji (mm),
- h = kedalaman penampang spesimen (mm).

III. METODOLOGI PENELITIAN

Proses pembuatan dan pengambilan data dilakukan di Laboratorium Struktur Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara.

3.2 Pemeriksaan Ketersediaan Material dan Alat

Material yang digunakan untuk membentuk mortar ECC adalah semen, pasir, air, *superplasticizer*, *fly ash*, abu cangkang sawit dan serat bambu rotan. Semen yang digunakan ialah semen dengan tipe PCC (*portland composite cement*)– Tipe A dengan brand “Padang Cement Indonesia”. *Fly Ash* diperoleh dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Pangkalan Susu, Sumatera Utara. Abu cangkang sawit yang diperoleh dari Begerpang POM-PT PP London Sumatra Indonesia, Sumatera Utara. *Superplasticizer* digunakan tipe SIKA viscocrete 3115N. Bahan baku bambu diambil dari lokasi Jl. Sempahe-Namorambe, Kuala, Kec. Sibolangit, Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara dan bahan baku rotan dibeli di Jl. Sunggal, Tj. Rejo, Kec. Medan Sunggal, Kota Medan, Sumatera Utara. Serat bambu dan rotan yang digunakan berdiameter ±1mm dan dipotong dengan panjang 5 dan 10 mm seperti yang terlihat pada Gambar 3 dan Gambar 4.

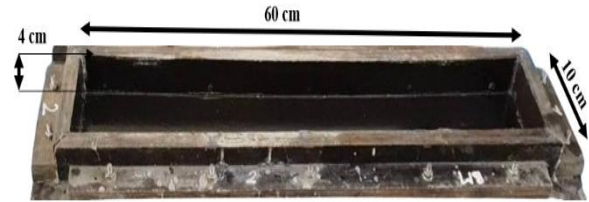


Gambar 3. Pengukuran diameter serat ±1mm



Gambar 4. Pemotongan panjang serat

Selanjutnya peralatan yang digunakan dalam pembuatan mortar ECC antara lain *mixer bor*, mesin uji lentur, timbangan dan cetakan pelat dengan ukuran 60x10x4cm dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Cetakan pelat

3.2 Mix Design

Mix design pada penelitian ini mengacu dari referensi penelitian sebelumnya (Sahara, 2025). Adapun ketentuan *mix proportion* yaitu jumlah semen yang digunakan yaitu jumlah *fly ash* (FA) ialah 10% dari berat semen, jumlah abu cangkang sawit (ACS) ialah 10% dari berat semen. Jumlah semen yang digunakan yaitu 350 kg/m³ dengan menggunakan faktor air semen (FAS) sebesar 0,435. Berat *superplasticizer* (SP) yang digunakan % dari (berat Semen + berat FA). Berat air yang digunakan ialah hasil FAS x berat semen.

Kode spesimen yang digunakan untuk benda uji bio *fiber*-ECC dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Kode spesimen bio *fiber*-ECC

Variasi Kadar Serat	Panjang Serat	
	5 mm	10 mm
0% (Mortar ECC)	MN	
1% Bambu	BF5-1%	BF10-1%
1.5% Bambu	BF5-1,5%	BF10-1,5%
2% Bambu	BF5-2%	BF10-2%
1% Rotan	RF5-1%	RF10-1%
1.5% Rotan	RF5-1,5%	RF10-1,5%
2% Rotan	RF5-2%	RF10-2%

(Sumber : Hasil pengujian)

3.3 Pembuatan Benda Uji

Dilakukan dengan cara menggabungkan seluruh material penyusun secara perlahan. dimulai dari air dan *superplasticizer*, dan dilanjutkan dengan semen lalu pasir, kemudian material *cementitious*. Mengaduknya menggunakan *hand mixer bor* sesuai dengan kecepatan yang diperlukan, hingga adukan tercampur rata. Langkah selanjutnya memasukkan bio *fiber* yang dilakukan setelah semua air dan bahan campuran lainnya telah teraduk merata sebelum dituang ke dalam cetakan. Lankah pembuatan campuran ECC dapat ditinjau seperti Gambar 6.



Gambar 6. Pembuatan benda uji bio fiber-ECC

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan rencana komposisi campuran yang telah direncanakan diperoleh hasil pengujian kuat lentur bio fiber-ECC pada umur 3 hari.

4.1 Hasil Kuat Lentur Bamboo Fiber-ECC

Contoh perhitungan kuat lentur beton :

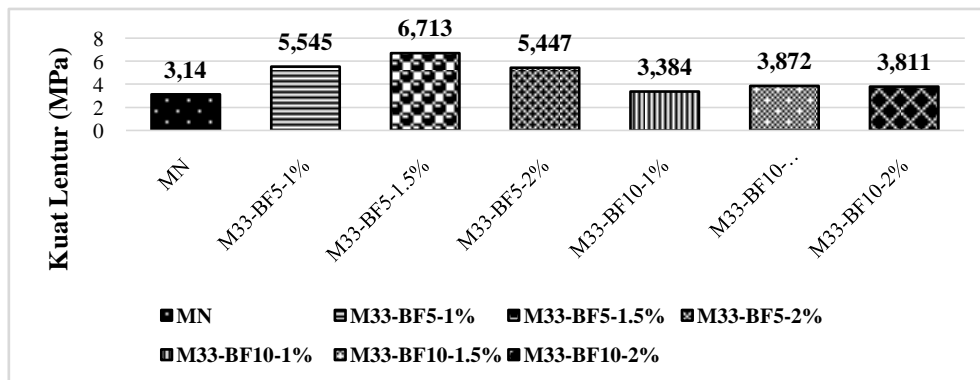
$$Kuat\ Lentur = \sigma = \frac{PL}{bh^2} = \frac{(1109)(450)}{(100)(40)^2} = 3.140\ MPa$$

Berdasarkan hasil pengujian kuat lentur pada umur 3 hari, penambahan serat bambu berpengaruh signifikan terhadap peningkatan kuat lentur beton dibandingkan dengan beton normal (MN) tanpa serat yang memiliki kuat lentur sebesar 3,14 MPa.

Penambahan serat bambu ukuran 5 mm menunjukkan hasil yang paling efektif dalam meningkatkan kuat lentur. Pada kadar 1% dan 1,5%, kuat lentur yang dihasilkan berturut-turut adalah 5,545 MPa dan 6,713 MPa. Nilai tertinggi tercapai pada kadar 1,5%, menunjukkan bahwa pada kadar tersebut, serat dapat berfungsi optimal dalam

menahan dan mendistribusikan tegangan lentur. Namun, saat kadar serat ditingkatkan menjadi 2%, kuat lentur justru menurun menjadi 5,447 MPa. Penurunan ini kemungkinan disebabkan oleh aglomerasi serat yang menyebabkan distribusi serat tidak merata dalam campuran, sehingga mengganggu integritas struktur beton.

Sebaliknya, serat bambu ukuran 10 mm menunjukkan peningkatan kuat lentur yang lebih rendah dibandingkan dengan ukuran 5 mm. Pada kadar 1%, 1,5%, dan 2%, kuat lentur yang diperoleh adalah 3,384 MPa, 3,872 MPa, dan 3,811 MPa. Meskipun ada peningkatan dibandingkan beton normal, namun nilainya tidak setinggi pada penggunaan serat ukuran 5 mm. Hal ini menunjukkan bahwa ukuran serat yang lebih kecil (5 mm) lebih efektif dalam meningkatkan kuat lentur dan ukuran serat yang lebih panjang cenderung sulit terdistribusi secara merata, serta lebih mudah membentuk gumpalan dalam campuran yang justru dapat menjadi titik lemah pada beton. Hasil pengujian kuat lentur rata rata bamboo fiber-ECC pada umur 3 hari dapat ditinjau pada Gambar 7.



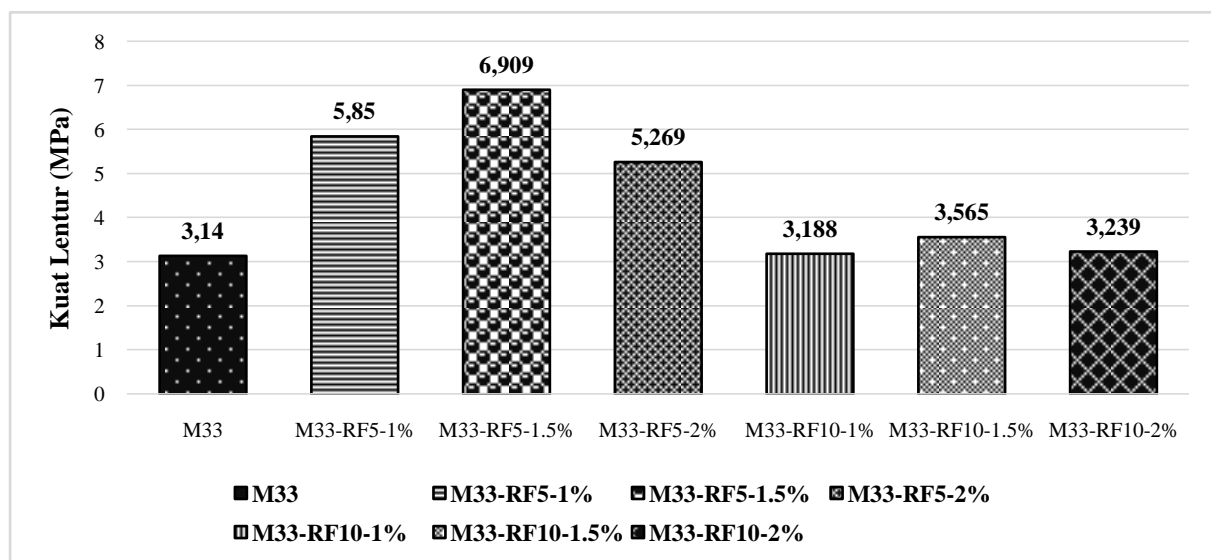
Gambar 7. Kuat lentur rata-rata bamboo fiber-ECC

4.2 Hasil Kuat Lentur Rattan Fiber-ECC

Serat rotan berukuran 5 mm memberikan kontribusi penguatan yang cukup signifikan terhadap karakteristik lentur beton. Pada variasi kadar 1%, 1,5%, dan 2%, diperoleh kuat lentur sebesar 5,850 MPa, 6,909 MPa, dan 5,269 MPa. Pencapaian tertinggi terjadi pada kadar 1,5% dengan ukuran serat 5 mm, menunjukkan bahwa proporsi dan ukuran serat tersebut dapat bekerja secara optimal dalam menahan dan menyebarkan tegangan yang terjadi saat pembebanan lentur. Namun demikian, peningkatan kadar hingga 2% menyebabkan penurunan performa. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh penumpukan serat yang tidak tersebar merata, sehingga mengganggu keseragaman dan kohesi material dalam campuran beton.

Berbeda halnya dengan penggunaan serat rotan berukuran 10 mm, yang cenderung menunjukkan peningkatan yang lebih rendah. Kuat lentur yang diperoleh pada kadar 1%, 1,5%, dan 2%

berturut-turut adalah 3,188 MPa, 3,565 MPa, dan 3,239 MPa. Meskipun terjadi sedikit peningkatan dibandingkan beton tanpa serat, nilainya jauh lebih rendah dibandingkan kelompok serat 5 mm. Diduga, ukuran serat yang lebih panjang menyulitkan proses pencampuran dan penyebaran serat secara merata dalam adukan, sehingga menurunkan efektivitas penguatan dan berpotensi menjadi titik lemah dalam struktur beton. Secara keseluruhan, ukuran dan jumlah serat sangat berpengaruh, dan kombinasi 5 mm dengan kadar serat sebesar 1,5% menjadi titik optimal sebelum terjadi penurunan performa akibat kelebihan serat dalam campuran. Dengan demikian, pemilihan ukuran dan kadar serat yang tepat menjadi faktor penting dalam optimalisasi sifat mekanik beton Bio *Fiber-ECC*. Hasil pengujian kuat lentur rata-rata *rattan fiber-ECC* pada umur 3 hari dapat ditelaah pada Gambar 8.



Gambar 8. Kuat lentur rata-rata *rattan fiber-ECC*

4.3 Hubungan Peningkatan Kuat Lentur dengan Persentase Serat

Variasi jenis serat, ukuran, dan kadar yang digunakan pada campuran Bio *Fiber-ECC* memberikan dampak yang berbeda terhadap kuat lentur beton pada umur 3 hari. Hasil pengujian menunjukkan bahwa peningkatan performa lentur tidak hanya ditentukan oleh kehadiran serat, tetapi juga oleh proporsi dan dimensi fisik dari serat itu sendiri.

Penggunaan serat berukuran pendek (5 mm), baik dari bambu maupun rotan, menghasilkan respons penguatan yang jauh lebih baik dibandingkan ukuran panjang (10 mm). Pada kadar 1,5%, kedua jenis serat 5 mm menunjukkan kinerja tertinggi. Hal ini menandakan bahwa serat dengan dimensi pendek lebih mudah menyatu dengan matriks beton dan bekerja lebih efektif dalam menahan dan mendistribusikan gaya tarik akibat beban lentur.

Namun, ketika kadar serat dinaikkan menjadi 2%, terjadi penurunan pada semua varian, terutama pada serat ukuran 5 mm. Ini menunjukkan bahwa meskipun serat mampu meningkatkan kekuatan, jumlah yang terlalu banyak dapat mengganggu kohesi campuran dan menyebabkan konsentrasi serat yang tidak merata.

Sementara itu, serat dengan ukuran lebih panjang (10 mm) cenderung menunjukkan peningkatan yang minim bahkan mendekati nilai beton normal. Rendahnya peningkatan ini mengindikasikan bahwa serat dengan panjang berlebih memiliki kecenderungan menggumpal atau tidak tersebar secara efisien dalam campuran, yang menyebabkan efektivitasnya menurun secara signifikan.

Ini menjelaskan bahwa optimalisasi kinerja mekanik beton ECC berbasis serat alami sangat

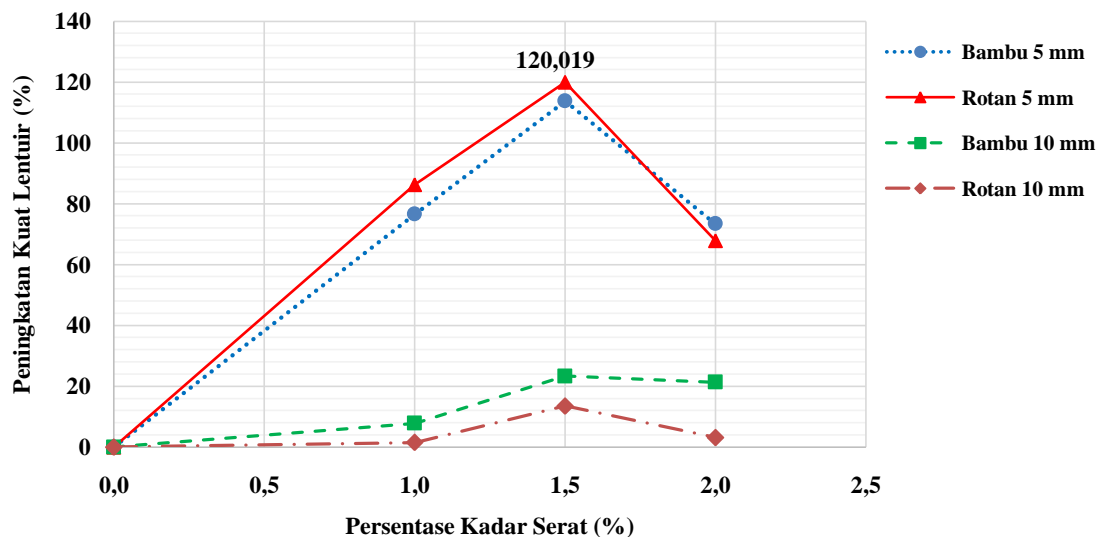
bergantung pada kombinasi antara kadar dan dimensi serat. Strategi pencampuran dan pengendalian proporsi menjadi hal yang penting agar serat dapat berfungsi maksimal dalam sistem material komposit. Hasil kuat lentur keseluruhan

serta hubungan peningkatan kuat lentur bio *fiber*-ECC dengan persentase serat disajikan pada Tabel 2 dan Gambar 9.

Tabel 2. Peningkatan kuat lentur bio *fiber*-ECC pada umur 3 hari

Kadar Serat	Kuat Lentur Rata-Rata (MPa)			
	Bambu 5 mm	Rotan 5 mm	Bambu 10 mm	Rotan 10 mm
0%	3.140	3.140	3.140	3.140
1%	5.545	5.850	3.384	3.188
1.5%	6.713	6.909	3.872	3.565
2%	5.447	5.269	3.811	3.239

Kadar Serat	Peningkatan Kuat Lentur (%)			
	Bambu 5 mm	Rotan 5 mm	Bambu 10 mm	Rotan 10 mm
0%	0	0	0	0
1%	76.582	86.285	7.770	1.501
1.5%	113.750	120.019	23.294	13.517
2%	73.448	67.776	21.354	3.143



Gambar 9. Grafik hubungan peningkatan kuat lentur dengan persentase serat pada umur 3 hari

V. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian mengenai pengaruh penambahan serat organik terhadap kuat lentur bio *fiber*-ECC berbasis *Fly Ash* (FA) dan Abu Cangkang Sawit (ACS), disimpulkan bahwa

1. Penambahan serat organik bambu dan rotan pada material Bio *Fiber*-ECC berbasis *fly ash* dan abu cangkang sawit berpengaruh signifikan terhadap peningkatan kuat lentur. Kinerja terbaik dicapai pada penambahan serat ukuran 5 mm dengan kadar 1,5% dari berat semen, yaitu masing-masing mencapai 6,909 MPa untuk rotan dan 6,713 MPa untuk bambu. Penambahan hingga 2% justru menurunkan kekuatan lentur, yang diduga disebabkan oleh

distribusi serat yang tidak merata. Serat ukuran 5 mm terbukti lebih efektif dibanding ukuran 10 mm karena penyebarannya yang lebih homogen.

2. Penggunaan serat lokal juga terbukti meningkatkan performa beton ECC secara signifikan. Peningkatan kekuatan lentur paling optimal tercapai pada kadar 1,5%, menjadikan serat bambu dan rotan sebagai alternatif penguat lokal yang ramah lingkungan dan efisien. Selain meningkatkan kekuatan, serat organik juga berperan dalam menghambat retak mikro dan meningkatkan daktilitas melalui mekanisme jembatan retak dalam matriks beton.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Li, V.C. 2003. *On Engineered Cementitious Composites (ECC)*. *Journal of Advanced Concrete Technology*, 1(3), 215–230. doi:10.3151/jact.1.215
- [2]. Li, V.C., 2019. Introduction to Engineered Cementitious Composites (ECC). In: *Engineered Cementitious Composites (ECC)*. Springer, Berlin, Heidelberg.
- [3]. Cai, M. et al., 2024, *Using Ultrafine Fly Ash To Achieve Low-Carbon, High Strength And High Toughness Engineered Cementitious Composites LC-HSTC*, *Case Studies in Construction Materials*, 20.doi:10.1016/j.cscm.2024.e03259
- [4]. Frisda, T. et al., 2022, 'sIKLUs: Jurnal Teknik Sipil Potensial Penggunaan Bata-ECC Berbasis Silica Fume dan Abu Cangkang Sawit Berdasarkan Kuat Tekan', 8(2), pp. 261–271.
- [5]. Hasudungan, H.I. and Aswin, M., 2022, *Investigasi Kuat Tekan Paving Block-Ecc Oktagonal Berbasis Fly Ash dan Abu Sekam Padi*, *Jurnal Syntax Admiration*, 3(11), pp. 1353–1365.
- [6]. Yaseen, N. et al., 2023, *Synergistic Impacts Of Fly Ash And Sugarcane Bagasse Ash On Performance Of Polyvinyl Alcohol Fiber-Reinforced Engineered Cementitious Composites*, *Results in Materials*, 20.
- [7]. Yusra, A. et al., 2021, *The Influence of Rattan Fibre Addition to the Compressive Strength of Normal Concrete*, in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing Ltd.
- [8]. Park, P. et al., 2020, *Engineered Cementitious Composites (ECC) for Applications in Texas* (0-7030-1).
- [9]. Wibowo, T.A. and Hendrawan, R., 2023, 'Speed Of Adjustment Of Capital Structure Of Cement Companies In Indonesia', *Action Research Literate*, 7(2).
- [10]. Sahara, Elvina. 2025. *Investigasi Workability dan Kuat Tekan Pada Mortar dan Bio Fiber Serat ECC Yang Berbasis Fly Ash Dan Abu Cangkang Sawit*.
- [11]. Dwi Lestari, D. et al., 2022., *Dinamika Teknik Sipil Majalah Ilmiah Teknik Sipil Volume 15 Pengaruh Variasi Campuran Serat Bambu Pada Kuat Tekan Beton Serat*, *Dinamika Teknik Sipil: Majalah Ilmiah Teknik Sipil*, 15.
- [12]. Junaidi, A., 2015, *Pemanfaatan Serat Bambu Untuk Meningkatkan Kuat Tekan Beton*, *Berkala Teknik*, 5(1), p. 754.
- [13]. Robbani, M.H. et al., 2023, *Characterization, Risk Assessment, And Potential Utilization Of Fly Ash From Pltsa Merah Putih At Bantargebang, Bekasi, Indonesia*, in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Institute of Physics. <https://doi.org/10.1088/1755-315/1201/1/012048>.
- [14]. Hussein, Hamada, 2023. *Aplikasi Serat Alami Pada Beton Semen: Tinjauan kritis*. Materialstoday.