

Evaluasi Sifat Mekanik Lentur Beton Menggunakan Serat Abaka dan Substitusi Abu Cangkang Tiram

Muhammad Iqbal¹, Bunyamin^{1*}, Heru Pramanda¹, Rafiq Muhni Yusputri²

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Iskandar Muda, Banda Aceh

²Program Studi D-3 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh

*Koresponden email: bunyamin@unida-aceh.ac.id

Diterima: 14 Agustus 2025

Disetujui: 18 Agustus 2025

Abstract

Flexural strength is one of the mechanical properties of concrete that is often overlooked in achieving maximum concrete performance. Abaca fiber, a natural fiber, has been widely used to enhance the flexural strength of concrete. However, its utilization remains limited and has never been combined with Oyster Shell Ash (OSA). Therefore, this study aims to determine the density, slump flow, and flexural strength of high-strength concrete with a 5% substitution of OSA, supplemented with 2% superplasticizer and abaca fiber at proportions of 0.15%, 0.30%, and 0.45%, with curing for 28 days. The oyster shells were sourced from Surien, Meuraxa District, Banda Aceh City, while the abaca fibers were obtained from East Java. The experimental design followed the ACI 211.4R-93 (American Concrete Institute) method. The results showed that an excessive addition of abaca fiber reduces the density of concrete. Incorporating 0.15% abaca fiber increases the flexural strength of concrete. The combination of 5% OSA substitution with abaca fiber further improves flexural strength.

Keywords: *oyster shell ash, concrete, flexural strength, waste, abaca fiber*

Abstrak

Kuat lentur beton ialah salah satu sifat mekanis beton yang sering diabaikan dalam menghasilkan kekuatan beton maksimum. Serat abaka merupakan serat alami yang telah banyak digunakan dalam hal perkuatan lentur beton. Pemanfaatan serat abaka masih terbatas dan belum pernah dikombinasikan dengan Abu Cangkang Tiram (ACT). Sehingga, tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan berat volume, slump flow, dan kuat lentur beton mutu tinggi dengan substitusi ACT sebesar 5% dan bahan tambah berupa *superplasticizer* 2% dan serat abaka sebesar 0,15%, 0,30%, dan 0,45%, dengan perendaman benda uji selama 28 hari. Limbah cangkang tiram diperoleh dari daerah Surien, Kecamatan Meuraxa, Kota Banda Aceh. Sedangkan serat abaka didapatkan dari daerah Jawa Timur. Penelitian direncanakan berdasarkan kepada metode ACI 211.4R-93 (*American Concrete Institute*). Hasil penelitian memperlihatkan bahwa serat abaka yang ditambahkan sangat banyak, maka dapat menurunkan nilai berat volume beton. Pertambahan serat abaka sebesar 0,15%, maka kuat lentur beton akan meningkat. Substitusi ACT 5% yang dikombinasikan dengan tambahan serat abaka di dalam beton, maka kuat lenturnya semakin meningkat.

Kata Kunci: *abu cangkang tiram, beton, kuat lentur, limbah, serat abaka*

1. Pendahuluan

Beton ialah bahan komposit (campuran) yang seringkali digunakan pada dunia konstruksi yang tersusun atas semen, agregat halus, agregat kasar, air dan dengan atau tanpa bahan tambah. Bahan baku utama di dalam pembuatan beton adalah semen, yang merupakan salah satu sumber daya alam yang lama kelamaan akan habis. Proses produksi semen Portland yaitu dengan melakukan penghalusan kalsium silika dan dikombinasikan dengan bahan gypsum. Kemudian melakukan proses pembakaran bahan pembentuk semen, yang dapat menghasilkan karbon dioksida (CO₂). Hasil dari CO₂ tersebut akan menimbulkan pemanasan global dan polusi udara di lingkungan sekitar [1].

Salah satu syarat pembuatan beton untuk konstruksi adalah bahwa mortar harus membungkus setiap butir agregat secara keseluruhan, dan mortar harus mengisi ruang antara agregat. Oleh karena itu, kualitas pasta atau mortar berkorelasi dengan kualitas beton. Komponen utama beton adalah semen, yang hanya terdiri dari 7–15 persen dari campuran. Beton dengan konsentrasi semen yang rendah (hingga 7%) disebut beton kurus, sedangkan beton dengan konsentrasi semen yang tinggi disebut beton gemuk [2].

Karena permintaan semen Portland yang terus meningkat di Indonesia, diperlukan bahan alternatif yang memiliki sifat mirip dengan semen dan ramah lingkungan. Pada umumnya, semen Portland terdiri

dari kapur, silika, aluminium oksida, besi (III) oksida, dan kalsium karbonat, yang merupakan oksida dominan. Namun, ada sejumlah kecil oksida, seperti kalium oksida, natrium oksida, sulfur trioksida, dan magnesium oksida. Semen Portland dan serbuk cangkang telur memiliki kandungan senyawa yang sama. Magnesium, besi, dan kalsium karbonat adalah contoh senyawa ini [3]. Pada saat ini, produksi limbah terbuang dari industri, pertanian, ataupun rumah tangga sangat meningkat, salah satunya adalah limbah cangkang tiram [4].

Cangkang tiram mengandung lebih dari 95,69% senyawa CaCO_3 , sehingga cangkang tiram dapat digunakan sebagai sumber kalsium [5]. Selain itu, cangkang karena ukurannya yang besar dan kekerasan dapat digunakan sebagai bahan agregat halus untuk campuran beton. Sebelum dicampurkan, cangkang harus dihancurkan sampai ukuran tertentu yang memenuhi persyaratan agregat halus untuk bahan campuran beton. Untuk menghasilkan serbuk nanokalsium, cangkang tiram terlebih dahulu dipanaskan selama empat jam pada suhu $700\text{--}900^\circ\text{C}$. Setelah itu, cangkang dapat dihancurkan. Setelah itu, uji morfologi kalsium dapat dilakukan di laboratorium terlebih dahulu dengan menggunakan SEM [6].

Kandungan kimia cangkang tiram mengandung CaCO_3 , yang apabila dipanaskan akan berubah menjadi CaO dan melepaskan CO_2 ke udara. Kandungan pozzolan, yang mengandung CaO , alumina, dan senyawa silika, juga dapat digunakan sebagai bahan baku beton alternatif [7].

Abu Cangkang Tiram (ACT) sebagai campuran beton telah digunakan secara luas. Hal ini disebabkan oleh kandungan CaCO_3 yang tinggi dalam abu cangkang tiram. Abu cangkang tiram mengandung senyawa kimia pozzolan, termasuk zat kapur (CaO), alumina, dan senyawa silika. Oleh karena itu, abu cangkang tiram dapat digunakan sebagai alternatif untuk beton [8]. Cangkang tiram memiliki sifat yang mirip dengan zat kapur, sehingga limbah cangkang tiram dapat digunakan sebagai pengganti sebagian semen dalam beton. Namun, jika dicampur dengan semen hingga 25%, maka kekuatan beton akan menjadi lebih buruk [9].

Selama ini, ACT masih belum dimanfaatkan secara maksimal di dalam beton. ACT belum pernah dikombinasikan dengan serat alami maupun buatan dalam menghasilkan kekuatan lentur beton mutu tinggi. Serat alami yang kuat tariknya tinggi dan sering digunakan untuk perkuatan geser pada beton, yaitu serat abaka.

Dalam proses pembuatan beton lentur, serat abaka telah banyak digunakan. Abaka, atau *Musa textillis Nee*, adalah tumbuhan dari famili *Musaceae* yang populer di Filipina [10]. Di Filipina, serat abaka banyak dimanfaatkan masyarakat sebagai bahan ikat atau tali. Serat ini juga menjadi bahan baku kerajinan tangan serta pakaian bagi kalangan bangsawan. Tanaman abaka menghasilkan serat panjang yang banyak digunakan untuk membuat tali kapal laut, karena memiliki kekuatan tinggi, mampu mengapung di air, dan tahan terhadap air laut [11].

Permasalahan yang diteliti dalam penelitian ini adalah bagaimana pengaruh substitusi campuran ACT sebagai bahan pengganti sebahagian semen sebesar 5% yang dikombinasikan dengan serat abaka sebesar 0,15%, 0,30%, dan 0,45% terhadap kuat lentur balok.

Tujuan penelitian ini ialah untuk melihat kuat lentur balok dengan bahan ACT sebagai pengganti sebahagian semen dengan substitusi sebesar 5% yang dikombinasikan dengan serat abaka sebesar 0,15%, 0,30%, dan 0,45%. Pada penelitian ini, perendaman benda uji balok dilakukan selama 28 hari. Adapun mutu beton yang didesain adalah sebesar 9000 Psi atau sebesar 62 MPa.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan secara eksperimental di Laboratorium dengan metode dari American Society for Materials Testing (ASTM) dan American Concrete Institute (ACI) [12]. Tahapannya dapat diuraikan sebagai berikut:

2.1. Pengolahan Limbah Cangkang Tiram

Penelitian ini menggunakan limbah cangkang tiram dari daerah Surien, Kecamatan Meuraxa, Kabupaten Aceh Besar, Provinsi Aceh, Indonesia. Limbah cangkang tiram diperoleh dari tempat pembuangan di pinggir jembatan dekat Surien. Kemudian cangkang tiram dibawa ke Laboratorium untuk dibersihkan dari sampah-sampah kecil yang tidak terlihat saat pengambilan di lokasi dengan menggunakan air hingga bersih. Setelah cangkang tiram dibersihkan, kemudian dioven selama 24 jam pada suhu 110°C untuk mengurangi kadar air [13]–[16]. Setelah kering, dimasukkan ke dalam mesin Los Angeles untuk dihancurkan sampai menjadi halus, selanjutnya cangkang tiram dibakar dengan menggunakan alat furnace pada suhu 700°C . Kemudian diayak dengan menggunakan saringan ayakan Nomor 200 atau menghasilkan ukuran 0,075 mm [17], [18].

2.2. Pengolahan Serat Abaka

Serat abaka yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari wilayah Jawa Timur dalam bentuk gulungan serat alami. Proses persiapan dimulai dengan membentangkan serat secara merata di atas permukaan meja kerja untuk memudahkan pengukuran panjang tiap serat. Panjang serat diukur menggunakan alat ukur presisi guna memastikan keseragaman dimensi setiap helai serat. Setelah pengukuran, serat dipotong sesuai panjang yang telah ditentukan secara konstan, sehingga setiap potongan memiliki ukuran yang seragam [14]. Setelah dipotong, serat-serat ini ditambahkan ke campuran beton untuk meningkatkan sifat mekanis beton, terutama kekuatan tarik dan lentur. Selain itu, serat didistribusikan secara merata di seluruh adukan. Proses ini untuk menjaga konsistensi eksperimen dan memaksimalkan efektivitas serat abaka sebagai bahan penguat dalam beton.

2.3. Pengujian Sifat Fisis Agregat

Pengujian terhadap sifat fisis agregat, meliputi agregat halus, dan batu pecah, dilakukan sesuai standar ASTM 2004. Diameter maksimum agregat halus adalah 2,38 mm dan 9,52 mm untuk batu pecah. Semua agregat diperoleh dari Kota Jantho, Kabupaten Aceh Besar. Tujuan pengujian ini adalah untuk memastikan agregat memenuhi kriteria sebagai bahan penyusun beton [19], [20], termasuk melalui pengujian berat volume sesuai ASTM C 29/C 29M – 97 [21], pengujian absorpsi (ASTM C 127 – 01) [22], pengujian berat jenis maupun pengujian susunan butiran (ASTM C136 – 01) [23].

Berdasarkan pemeriksaan pengujian, kelayakan material untuk digunakan ditentukan dengan membandingkan nilai-nilai yang diperoleh terhadap batasan standar yang ditetapkan dalam peraturan ASTM [24]. Apabila nilai yang diperoleh tidak memenuhi persyaratan ASTM, material tersebut dinyatakan tidak layak untuk digunakan.

2.4. Perencanaan Komposisi Campuran Beton

Perencanaan komposisi campuran beton (*concrete mix design*) dihitung berdasarkan metode *American Concrete Institute* (ACI) 211.4R-93. Jumlah air yang dibutuhkan untuk tiap 1 m³ beton didasarkan pada mutu beton rencana sebesar 9000 psi atau sekitar 62 Mpa. Sedangkan diameter agregat maksimum adalah 3/8 inchi atau sekitar 9,52 mm. Jumlah air dan semen dihitung dengan menggunakan rumus: FAS = jumlah air dibagi dengan semen. ACT ditambahkan ke dalam semen sebesar 5% dan serat abaka ditambahkan ke dalam beton sebesar 0,15%, 0,30%, dan 0,45%. Benda uji yang digunakan berbentuk silinder 100 x 200 mm. **Tabel 1** menunjukkan hasil perencanaan komposisi campuran beton.

Tabel 1. Hasil perencanaan komposisi campuran beton

Material	Jumlah (Kg/m ³)	
	Beton Normal	Beton ACT
Semen	587	557
ACT	0	29
Agregat Halus	677	672
Split	944	944
Air	187	187
Total	2395	2390

Sumber: Penulis (2025)

2.5. Prosedur Pencetakan Benda Uji

Sebelum pengecoran, semua material ditimbang sesuai proporsi campuran beton, dan cetakan diolesi oli untuk mempermudah pelepasan setelah pengerasan. Pengadukan dilakukan menggunakan molen 90 liter yang telah dibersihkan dan dibasahi bersama wadah penampungan. Material berupa batu pecah, agregat halus, semen, ACT, air, serat abaka, dan superplasticizer dimasukkan secara berurutan selama ±15 menit dengan kemiringan molen 45° untuk menghindari penggumpalan. Setelah tercampur homogen, mortar dituangkan ke wadah penampungan dan diuji kekentalannya melalui slump test.

Benda uji dibuat dengan mengisi cetakan balok dalam tiga lapisan, masing-masing dipadatkan menggunakan tongkat baja (16 mm × 60 cm) sebanyak 25 kali dari ketinggian 30 cm. Setelah cetakan penuh, sisi diketuk dengan palu karet untuk memastikan kepadatan. Setelah 24 jam, benda uji dilepas dari cetakan dan diberi kode sesuai rencana.

Perawatan atau perendaman benda uji balok dimulai saat beton berumur 24 jam dengan membuka cetakan dan memberi identifikasi pada tiap benda uji. Selanjutnya, benda uji direndam dalam bak terlindung selama 28 hari agar tidak terpengaruh cuaca. Setelah masa perendaman selesai, benda uji dikeluarkan ±24

jam kemudian untuk dibersihkan dan dikeringkan permukaannya. Adapun benda uji yang direncanakan dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Perencanaan benda uji

Jenis Beton	Besarnya Tambahannya Serat Abaka Terhadap Beton	Besarnya Substitusi Abu Cangkang Tiram Terhadap Semen	Jumlah Semen Dalam Beton	Nama Benda Uji	Total Benda Uji
BN	0,00 %	0,00 %	100,00 %	BN1 BN2 BN3	3
BSACT-1	0,15 %	0,00 %	100,00 %	BSACT-1.1 BSACT-1.2 BSACT-1.3	3
BSACT-2	0,30 %	0,00 %	100,00 %	BSACT-2.1 BSACT-2.2 BSACT-2.3	3
BSACT-3	0,45 %	0,00 %	100,00 %	BSACT-3.1 BSACT-3.2 BSACT-3.3	3
BSACT-4	0,00 %	5,00 %	95,00 %	BSACT-4.1 BSACT-4.2 BSACT-4.3	3
BSACT-5	0,15 %	5,00 %	95,00 %	BSACT-5.1 BSACT-5.2 BSACT-5.3	3
BSACT-6	0,30 %	5,00 %	95,00 %	BSACT-6.1 BSACT-6.2 BSACT-6.3	3
BSACT-7	0,45 %	5,00 %	95,00 %	BSACT-7.1 BSACT-7.2 BSACT-7.3	3
TOTAL					24

Sumber: Penulis (2025)

Keterangan:

- BN = Beton normal untuk BU 1 s/d 3
- BSACT-1 = Beton yang terbuat dari serat abaka 0,15% dan abu cangkang tiram 0%
- BSACT-2 = Beton yang terbuat dari serat abaka 0,30% dan abu cangkang tiram 0%
- BSACT-3 = Beton yang terbuat dari serat abaka 0,45% dan abu cangkang tiram 0%
- BSACT-4 = Beton yang terbuat dari serat abaka 0,00% dan abu cangkang tiram 5%
- BSACT-5 = Beton yang terbuat dari serat abaka 0,15% dan abu cangkang tiram 5%
- BSACT-6 = Beton yang terbuat dari serat abaka 0,30% dan abu cangkang tiram 5%
- BSACT-7 = Beton yang terbuat dari serat abaka 0,45% dan abu cangkang tiram 5%

2.6. Pengujian Berat Volume dan Kuat Lentur

Pengujian atau pemeriksaan berat volume dilaksanakan ketika benda uji berumur 28 hari dengan menimbang massa dan mengukur dimensi untuk menghitung volumenya [25]. Berat volume diperoleh dari perbandingan antara massa dan volume benda uji [26].

Pengujian kuat lentur balok dilakukan sesuai SNI 4431:2011 dengan prosedur sebagai berikut: mesin uji dihidupkan dan benda uji diletakkan pada tumpuan; pembebanan diatur secara perlahan dengan kecepatan 8–10 Kg/cm² per menit hingga menjelang patah; kecepatan dikurangi untuk menghindari kejutan; beban maksimum dicatat saat patah terjadi. Setelah pengujian, dimensi tampang patah diukur pada beberapa titik untuk mendapatkan rata-rata, begitu pula jarak patah dari tumpuan diambil rata-ratanya.

3. Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini membahas hasil pengujian slump, berat volume, dan kuat lentur beton. Data disajikan dalam bentuk tabel, grafik, dan gambar, kemudian dianalisis, dikomentari, serta dibandingkan dengan temuan penelitian sebelumnya.

3.1. Hasil Pengujian Sifat Fisis Agregat

Pengujian sifat fisis agregat sangat penting untuk menentukan kualitas beton sesuai standar ASTM. Pada penelitian ini, sifat fisis agregat halus dan kasar (batu pecah) diuji di laboratorium, dan hasilnya disajikan pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Hasil pengujian sifat fisis agregat

No.	Agregat	Berat Volume (Kg/l)	Berat Jenis (SSD)	Berat Jenis (OD)	Absorpsi (%)	Fineness Modulus (FM)
1.	Agregat Halus	1,684	2,653	2,614	1,480	2,75
2.	Batu Pecah	1,453	2,776	2,764	0,435	5,91

Sumber: Penulis (2025)

Pengujian termasuk berat volume, berat jenis, penyerapan air (absorpsi), dan modulus kehalusan (fineness modulus atau FM). Berdasarkan hasilnya, berat volume agregat memenuhi standar yang ditetapkan, yaitu lebih dari 1,4 kilogram per liter. Hasil ini menunjukkan bahwa agregat memiliki kepadatan yang cukup untuk dimasukkan ke dalam campuran beton. Selanjutnya, berat jenis agregat halus berada dalam rentang 2,0 hingga 2,7, sesuai dengan ketentuan ASTM, sedangkan berat jenis agregat kasar berupa batu pecah juga memenuhi standar yang berlaku, sehingga dapat menjamin stabilitas dan kekuatan beton yang dihasilkan.

Hasil pengujian penyerapan air atau absorpsi menunjukkan nilai di bawah 2%, yang berarti agregat memiliki kemampuan menyerap air yang rendah sehingga risiko pengaruh negatif terhadap campuran beton dapat diminimalkan. Dari segi kehalusan butir, nilai FM untuk agregat halus berada pada rentang 2,3 hingga 3,1, sesuai dengan batasan ASTM, menandakan distribusi ukuran butir yang proporsional untuk mencapai kepadatan dan workability beton yang optimal. Sementara itu, FM untuk agregat kasar berada pada kisaran 5,5 hingga 8,0, yang juga sejalan dengan standar ASTM, menunjukkan bahwa agregat kasar memiliki distribusi butir yang tepat untuk mendukung integritas struktural beton. Secara keseluruhan, hasil pengujian ini menegaskan bahwa agregat yang digunakan dalam penelitian memiliki kualitas fisis yang memenuhi syarat untuk menghasilkan beton dengan performa mekanis dan durabilitas yang baik.

3.2. Hasil Pengujian Slump

Pengujian atau pemeriksaan nilai slump dilakukan setelah campuran beton dalam molen mencapai homogenitas penuh. Pengujian ini menggunakan kerucut Abrams untuk menilai kelecakan (workability) adukan, dengan membandingkan nilai slump yang diperoleh di laboratorium terhadap nilai slump yang telah direncanakan sebelumnya. Hasil pengukuran nilai slump ditampilkan pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Hasil pengujian nilai slump

No.	Jenis Beton	Variasi ACT (%)	Variasi Serat Abaka (%)	Slump Flow (cm)
1	BN	0%	0,00%	60.50
2	BSACT-1	0%	0,15%	58.00
3	BSACT-2	0%	0,30%	47.00
4	BSACT-3	0%	0,45%	40.50
5	BSACT-4	5%	0,00%	64.50
6	BSACT-5	5%	0,15%	60.00
7	BSACT-6	5%	0,30%	53.50
8	BSACT-7	5%	0,45%	48.00

Sumber: Penulis (2025)

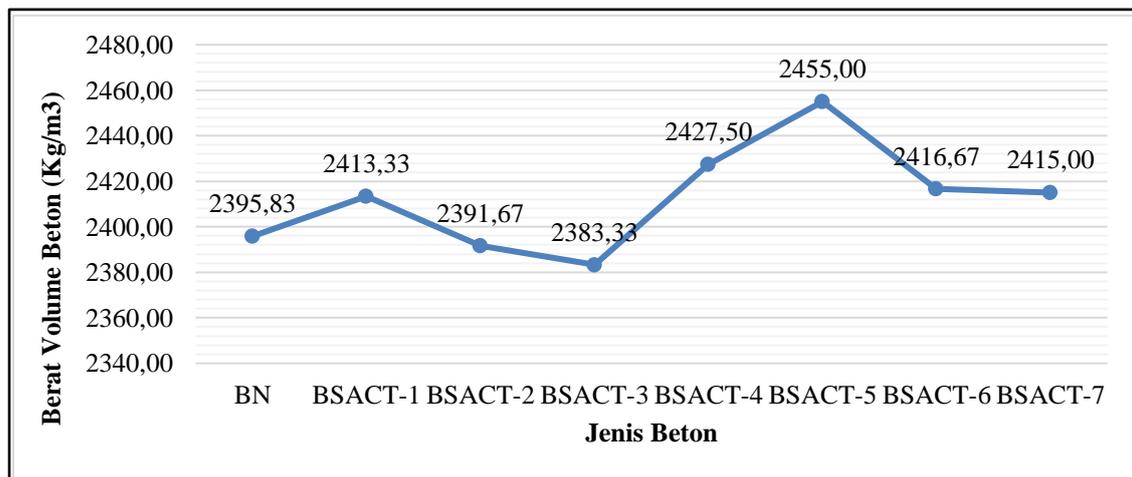
Berdasarkan **Tabel 4**, dapat dilihat bahwa nilai *slump flow* menurun signifikan, seiring dengan bertambahnya jumlah serat abaka di dalam beton. Faktor utama penyebabnya adalah bentuk serat memanjang dan jumlahnya terlalu banyak, yang juga memerlukan air dalam jumlah yang banyak. Sehingga banyak kehilangan air ketika pencampuran adukan beton dilakukan. Hasil penelitian diperoleh mirip dengan penelitian terdahulu [27].

Sesuai dengan **Tabel 4**, diperoleh bahwa campuran ACT 5% dan variasi % serat abaka di dalam beton, menghasilkan adukan beton yang adhesi. Hal ini dipengaruhi oleh kandungan CaO pada ACT, yang mampu melapisi agregat dengan homogen dan dapat membuat campuran beton tidak terlalu kental. Penelitian terdahulu juga menyebutkan hal yang sama [28]. Berbeda halnya dengan beton BSACT-2, BSACT-3, dan BSACT-7, yang memiliki nilai *slump flow* rendah. Untuk nilai *slump flow* BSACT-2 dan BSACT-3 rendah, dikarenakan tidak adanya campuran ACT dan jumlah serat yang ditambahkan terlalu banyak. Sedangkan untuk nilai *slump flow* BSACT-7 rendah, dikarenakan jumlah serat sangat banyak, yaitu 0,45%. Hasil penelitian lain mengatakan bahwa jika serat abaka ditambahkan sangat banyak di dalam beton, maka proses hidrasi semen tidak sempurna, sehingga akan mempengaruhi workability beton, yaitu penurunan nilai *slump flow* [29].

Berdasarkan **Tabel 4**, dilihat bahwa BSACT-4 memiliki nilai *slump flow* maksimum, yaitu 64,50 cm. Hasil penelitian terdahulu menyebutkan sifat kimiawi ACT dapat memperbaiki workability beton, yaitu membuat adukan beton mudah dikerjakan [30]. Sedangkan nilai *slump flow* minimum diperoleh pada BSACT-3, sebesar 40,50 cm. Penurunan nilai *slump flow* tersebut disebabkan oleh kesulitan peneliti dalam pencampuran serat ke dalam beton. Di mana, diperlukan penyesuaian waktu untuk supaya serat tersebar merata, sehingga terjadinya penguapan air. Hasil penelitian terdahulu menyebutkan hal serupa [31].

3.3. Hasil Pengujian Berat Volume Beton

Berat volume beton dihitung berdasarkan dimensi dan berat benda uji yang diukur di Laboratorium dengan timbangan digital. Hasil perhitungan ini ditunjukkan pada **Gambar 1** berikut.



Gambar 1 : Grafik berat volume beton
Sumber: Penulis (2025)

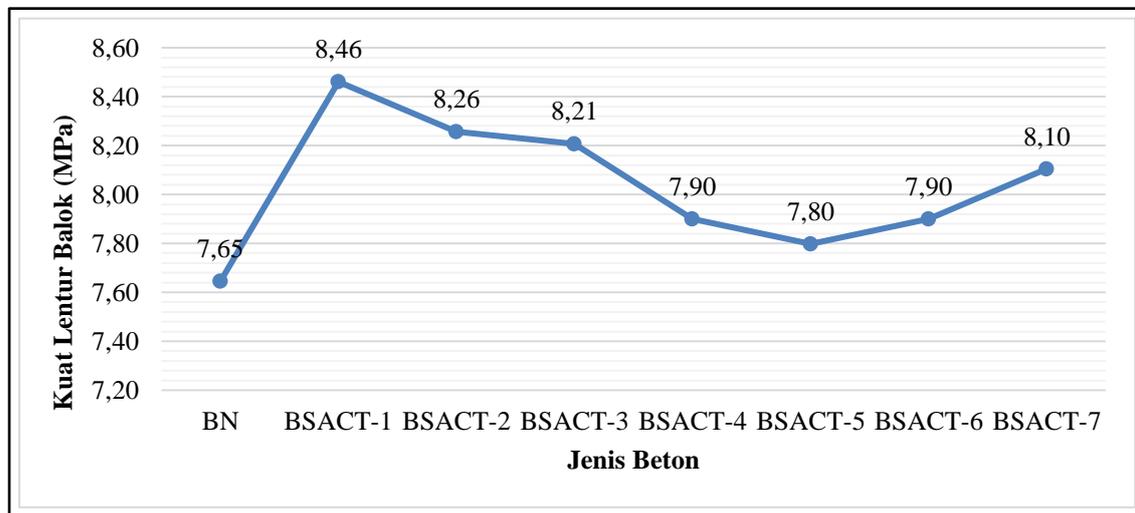
Dari **Gambar 1**, menunjukkan berat volume pada beton normal diperoleh sebesar 2395,83 Kg/m³. Beton tambahan serat abaka 0,15%, 0,30%, dan 0,45% berturut-turut didapatkan nilai berat volumenya sebesar 2413,33 Kg/m³, 2391,67 Kg/m³, dan 2383,33 Kg/m³. Sedangkan beton campuran ACT 5% yang dikombinasikan dengan serat abaka 0,00%, 0,15%, 0,30%, dan 0,45% berturut-turut didapatkan nilai berat volumenya sebesar 2427,50 Kg/m³, 2455,00 Kg/m³, 2416,67 Kg/m³, dan 2415,00 Kg/m³. Secara keseluruhan, berat volume beton dengan menggunakan bahan substitusi ACT 5% yang dikombinasikan dengan serat abaka meningkat jika dibandingkan dengan berat volume beton konvensional atau normal.

Dari hasil pemeriksaan atau pengujian, diperlihatkan bahwa serat abaka yang ditambahkan di atas 0,15%, maka berat volume beton menurun signifikan. Arduny et al juga memberikan komentar yang sama [32]. Faruk et al menyampaikan hasil penelitiannya bahwa serat abaka memiliki nilai berat jenis lebih rendah jika dibandingkan dengan semen OPC tipe 1, sehingga dapat menurunkan berat volume beton [33].

Berdasarkan **Gambar 1**, dapat dilihat dengan jelas bahwa penambahan serat abaka yang sangat banyak, maka dapat menurunkan nilai berat volume beton. Ketika disubstitusikan ACT 5% dengan atau tanpa serat abaka 0,15% ke dalam beton, maka nilai berat volumenya meningkat. Hal ini dikarenakan jumlah serat masih sedikit, sehingga pori-pori dalam beton masih kecil. Pada saat serat abaka ditambahkan di atas 0,15%, berat volume beton menurun signifikan. Penelitian terdahulu mengatakan bahwa jumlah serat abaka yang sedikit dalam beton, maka beton masih memiliki kompaktilitas yang baik [34].

3.4. Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton

Pengujian atau pemeriksaan kuat lentur pada beton diterapkan setelah benda uji berumur 28 hari, dengan terlebih dahulu dikeringkan selama 12–24 jam setelah dikeluarkan dari bak perawatan atau perendaman. Uji dilakukan dengan menggunakan mesin kuat lentur dengan beban diberikan tegak lurus terhadap panjang balok hingga mencapai kapasitas lentur maksimum. Data yang diperoleh meliputi dimensi, berat, dan beban maksimum benda uji, yang kemudian dihitung kuat lenturnya dan disajikan dalam bentuk grafik sebagaimana diperlihatkan pada **Gambar 2** berikut.



Gambar 2 : Grafik kuat lentur beton
Sumber: Penulis (2025)

Kekuatan lentur beton normal adalah 7,65 MPa, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2**. Beton tambahan serat abaka 0,15%, 0,30%, dan 0,45% secara berturut-turut didapatkan nilai kuat lenturnya sebesar 8,46 MPa, 8,26 MPa, dan 8,21 MPa. Sedangkan beton campuran ACT 5% yang dikombinasikan dengan serat abaka 0,00%, 0,15%, 0,30%, dan 0,45% secara berturut-turut didapatkan nilai kuat lenturnya sebesar 7,90 MPa, 7,80 MPa, 7,90 MPa, dan 8,10 MPa. Ketika beton dikombinasikan dengan bahan substitusi ACT 5% dan serat abaka digunakan, kekuatan lenturnya meningkat.

Dari hasil pengujian pengolahan data yang tergambar pada **Gambar 2**, diperlihatkan bahwa kuat lentur beton rata-rata pada umur 28 hari dengan menggunakan campuran ACT 5% dan tambahan serat abaka menunjukkan peningkatan kuat lentur beton yang sangat signifikan. Beton BSACT-1 (dengan 0,15% serat abaka tambahan) memiliki kekuatan lentur tertinggi 8,46 MPa, sedangkan beton konvensional memiliki kekuatan lentur terkecil 7,65 MPa.

Pada **Gambar 2** menunjukkan bahwa penambahan serat abaka di dalam beton s.d 0,15%, maka kuat lentur meningkat. Penelitian terdahulu menyebutkan bahwa penambahan jumlah serat yang sesuai di dalam beton, maka dapat mengurangi retak daerah tarik dan kuat kuat lenturnya dapat meningkat [35]. Selanjutnya, jika jumlah serat abaka ditambahkan hingga 0,45%, maka kuat lentur menurun. Hal ini dikarenakan jumlah serat abaka sudah banyak, sehingga kemampuan beton untuk mengalir berkurang dan menyebabkan terjadinya segregasi [29].

Gambar 2 menunjukkan bahwa substitusi ACT 5% yang dicampur dengan % serat abaka di dalam beton, maka kuat lentur beton semakin meningkat. Namun, nilai kuat lenturnya masih kecil jika dibandingkan dengan jenis beton variasi serat abaka (BSACT-1 s.d BSACT-3). Hal ini dikarenakan adanya kombinasi ACT dan serat abaka yang dicampurkan ke dalam beton. Di mana, kandungan CaO dalam ACT mampu mempercepat proses hidrasi dan serat abaka yang ditambahkan, dapat memperbesar jumlah penguapan air selama proses hidrasi berlangsung [30].

4. Kesimpulan

Studi tentang penambahan serat abaka 0,15%, 0,30%, dan 0,45% serta pengganti ACT 5% ke dalam semen menghasilkan kesimpulan berikut:

1. Nilai *slump flow* menurun signifikan, seiring dengan bertambahnya jumlah serat abaka di dalam beton.

2. Substitusi ACT 5% yang dicampur dengan % serat abaka di dalam beton, dapat menghasilkan adukan beton yang adhesi.
3. Penambahan serat abaka yang sangat banyak, maka dapat menurunkan nilai berat volume beton. Ketika disubstitusikan ACT 5% dengan atau tanpa serat abaka 0,15% ke dalam beton, maka nilai berat volumenya meningkat.
4. Penambahan serat abaka sebesar 0,15%, maka kuat lentur akan meningkat.
5. Substitusi ACT 5% yang dicampur dengan % serat abaka di dalam beton, maka kuat lentur beton semakin meningkat. Namun, nilai kuat lenturnya masih kecil jika dibandingkan dengan jenis beton variasi serat abaka saja.

5. Saran

Studi tentang tambahan serat abaka 0,15%, 0,30%, dan 0,45% serta pengganti ACT 5% ke dalam semen dapat memberikan rekomendasi berikut:

1. Untuk menjamin homogenitas beton, tambahan serat abaka harus dilakukan perlahan-lahan sebelum dimulainya pengecoran.
2. Perlu dilakukan penelitian tentang perbedaan variasi panjang serat abaka di dalam semen terhadap kuat tekan beton. Sehingga dapat diketahui berapa panjang serat yang ideal agar kuat lentur beton meningkat.

6. Daftar Pustaka

- [1] Y. F. Z. Dewi, H. Manalip, and R. S. Windah, "Pengaruh Penggunaan Serbuk Cangkang Telur Sebagai Substitusi Parsial Semen Terhadap Nilai Kuat Tarik Belah Beton," *J. Sipil Statik*, vol. 8, no. 3, 2020.
- [2] Nugraha, Paul. "Teknologi Beton Dari Material, Pembuatan, Ke Beton Kinerja Tinggi, LPPM Univ." *Kristen Petra, Surabaya* (2007).
- [3] P. Hunton, "Research on eggshell structure and quality: an historical overview," *Brazilian J. Poult. Sci.*, vol. 7, pp. 67–71, 2005.
- [4] F. D. Rahmayanti, "Pemanfaatan Limbah Cangkang Telur Sebagai Pupuk Makro (Ca) Pada Tanaman Bawang Merah," *AGRISIA-Jurnal Ilmu-Ilmu Pertan.*, vol. 12, no. 2, 2020.
- [5] F. Handayani Syahputra, "Isolasi dan karakterisasi nanokalsium dari cangkang tiram (*Crassostrea gigas*)," *Jphpi*, vol. 20, no. 3, pp. 515–523, 2017.
- [6] V. Vilela Rocha, P. Ludvig, A. C. Constancio Trindade, and F. de Andrade Silva, "The influence of carbon nanotubes on the fracture energy, flexural and tensile behavior of cement based composites," *Constr. Build. Mater.*, vol. 209, pp. 1–8, 2019, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.03.003.
- [7] Y. Li, W. D. Song, and P. Z. Hong, "Changing wastes into valuables-discussion on comprehensive development and utilization of oyster shell," in *Doctor. Expert Forum*, 2007, p. 26.
- [8] Q. Song, Q. Wang, S. Xu, J. Mao, X. Li, and Y. Zhao, "Properties of water-repellent concrete mortar containing superhydrophobic oyster shell powder," *Constr. Build. Mater.*, vol. 337, p. 127423, 2022.
- [9] O. A. Ubachukwu and F. O. Okafor, "Investigation of the Supplementary Cementitious Potentials of Oyster Shell Powder for Eco-Friendly and Low-cost Concrete," *Electron. J. Geotech. Eng.*, vol. 24, no. 5, pp. 1297–1306, 2019.
- [10] Erfanto, Anggi, Roski RI Legrans, and Alva N. Sarajar. "Pengaruh Penambahan Geopolymer Berbahan Fly Ash Dari PLTU Terhadap Kuat Geser Pada Tanah Pasir Berlempung." *TEKNO* 18.76 (2020).
- [11] R. Anthony, S. Y. Awasthi, P. Singh, and V. R. P. Kumar, "An experimental and characteristic study of abaka fiber concrete," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020, vol. 912, no. 3, p. 32077.
- [12] B. Bunyamin, "Pengaruh Sambungan Beton Pracetak Hollow Block terhadap Pola Retak yang Timbul," *J. Serambi Eng.*, vol. 5, no. 2, 2020.
- [13] N. Permatasari, B. Bunyamin, M. Hady, D. A. Hafiz, N. Lathifah, and M. H. Auliyah, "Utilization of Rice Field Conch Shells as a partial substitution of Cement and Fine Aggregate for Split Tensile Strength of Concrete," in *E3S Web of Conferences*, 2024, vol. 476, p. 1018.
- [14] B. Bunyamin, M. Hady, N. Hendrifia, and A. Syakir, "Analisis Kuat Tekan Beton Menggunakan Bahan Substitusi Serat Roving dan Cangkang Tiram," *J. Serambi Eng.*, vol. 8, no. 3, 2023.

- [15] M. Hady, B. Bunyamin, D. Darwin, A. Rahman, and A. Satria, "Pemanfaatan Cangkang Keong Sawah Sebagai Substitusi Sebahagian Semen Dan Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Beton," *J. Tek. Sipil dan Teknol. Konstr.*, vol. 8, no. 1, 2022.
- [16] B. Bunyamin and A. Mukhlis, "Utilization of Oyster Shells as a Substitute Part of Cement and Fine Aggregate in the Compressive Strength of Concrete," *Aceh Int. J. Sci. Technol.*, vol. 9, no. 3, 2020.
- [17] F. D. Pratama, B. Bunyamin, and F. D. Kurniasari, "Pengaruh Penggunaan Substitusi Filler Serbuk Kayu Pada Campuran Lapisan Aspal Beton," *J. Tek. Sipil Unaya*, vol. 7, no. 2, pp. 123–134, 2021.
- [18] B. Bunyamin, R. P. Munirwan, M. Ridha, and N. Hendrifa, "Utilization of wood processing dust as a substitute for a part of cement in concrete," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2021, vol. 1087, no. 1, p. 12004.
- [19] B. Bunyamin, M. Hady, R. P. Munirwan, R. Putra Jaya, and others, "Cymbopogon nardus Leaf Ash as an Alternative Material for Enhancing Concrete Strength," *Adv. Civ. Eng.*, vol. 2024, 2024.
- [20] B. Bunyamin, F. D. Kurniasari, R. P. Munirwan, and R. Putra Jaya, "Effect of Coral Aggregates of Blended Cement Concrete Subjected to Different Water Immersion Condition," *Adv. Civ. Eng.*, vol. 2022, 2022.
- [21] C. ASTM, "29/C 29M-97," *Stand. Test Method Bulk Density ("Unit Weight. Voids Aggreg.*, 2010.
- [22] A. ASTM C127, "Standard test method for specific gravity and absorption of coarse aggregate," *Am. Soc. Test. Mater.*, 1993.
- [23] A. International, "ASTM C136-01, Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates," *ASTM Int. West Conshohocken, PA*, 2001.
- [24] Bunyamin, "Comparison of deflection of hollow block concrete blocks with normal reinforced concrete beam," in *AIP Conference Proceedings*, 2019, vol. 2059, no. 1, p. 20039.
- [25] B. Bunyamin, N. Hendrifa, and M. Ridha, "Pengaruh Substitusi Cangkang Tiram Sebagai Pengganti Sebahagian Semen Dan Pasir Halus Terhadap Kuat Tarik Belah Beton," *TERAS J.*, vol. 11, no. 2, pp. 272–281, 2021.
- [26] ASTM C39/C39M-20, "Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens," 2012.
- [27] M. Hasan, T. Saidi, M. Jamil, Z. Amalia, and A. Mubarak, "Mechanical Properties and Absorption of High-Strength Fiber-Reinforced Concrete (HSFRC) with Sustainable Natural Fibers," *Buildings*, vol. 12, no. 12, p. 2262, 2022.
- [28] N. Nurfatirah, H. Zainab, H. Othman, H. K. Farizul, and A. Rozaini, "Effect of Temperature in Calcination Process of Seashells," *Malaysian J. Anal. Sci.*, vol. 19, no. 1, pp. 65–70, 2015.
- [29] R. Tampi, H. Parung, R. Djameluddin, and A. A. Amiruddin, "Reinforced concrete mixture using abaca fiber," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2020, vol. 419, no. 1, p. 12060.
- [30] Y. Han, R. Lin, and X.-Y. Wang, "Sustainable mixtures using waste oyster shell powder and slag instead of cement: Performance and multi-objective optimization design," *Constr. Build. Mater.*, vol. 348, p. 128642, 2022.
- [31] G. O. Manlapas, L. E. Cardenas, and E. T. Anacta, "Utilization of bamboo fiber as a component material in concrete," *Indian J Sci Technol*, vol. 11, pp. 1–9, 2017.
- [32] M. Ardanuy, J. Claramunt, and R. D. Toledo Filho, "Cellulosic fiber reinforced cement-based composites: A review of recent research," *Constr. Build. Mater.*, vol. 79, pp. 115–128, 2015.
- [33] O. Faruk, A. K. Bledzki, H.-P. Fink, and M. Sain, "Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000--2010," *Prog. Polym. Sci.*, vol. 37, no. 11, pp. 1552–1596, 2012.
- [34] E. C. Arvaniti *et al.*, "Determination of particle size, surface area, and shape of supplementary cementitious materials by different techniques," *Mater. Struct.*, vol. 48, pp. 3687–3701, 2015.
- [35] A. Elbehiry, O. Elnawawy, M. Kassem, A. Zaher, N. Uddin, and M. Mostafa, "Performance of concrete beams reinforced using banana fiber bars," *Case Stud. Constr. Mater.*, vol. 13, p. e00361, 2020.