

# PENGARUH PENAMBAHAN SERAT ABAKA DAN SUBSTITUSI 5% ABU CANGKANG TIRAM DALAM MENGHASILKAN KUAT TARIK BETON MUTU TINGGI

Isnaini Isnaini<sup>1</sup>  
Bunyamin Bunyamin<sup>1\*</sup>  
Heru Pramanda<sup>1</sup>  
Muhammad Ridha<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Iskandar Muda  
Jl. Kampus Unida, Surien, Kec. Meuraxa, Kota Banda Aceh, Aceh 23234, INDONESIA

## Abstract

*Abaca fiber is a natural reinforcement material with potential to improve the tensile performance of concrete. However, its application in high-strength concrete is often hindered by fiber agglomeration, and studies on its use in such concrete remain limited. This research investigates the effect of incorporating abaca fiber in combination with 5% Oyster Shell Ash (OSA) as a partial cement replacement on the splitting tensile strength of high-strength concrete. Concrete specimens (100 mm × 200 mm cylinders) were prepared with abaca fiber contents of 0.15%, 0.30%, and 0.45% by weight of cement. The OSA was sourced from Krueng Neng, Aceh Besar, while the abaca fiber was obtained from East Java, Indonesia. The mix design followed ACI 211.4R-93 guidelines and ASTM testing standards, targeting a compressive strength of 9000 psi ( $\approx$  62 MPa). After 28 days of water curing, results showed that the lowest splitting tensile strength was recorded for normal concrete (6.81 MPa), while the highest value was obtained for the mix containing 5% OSA and 0.30% abaca fiber (8.87 MPa). These findings indicate that the synergy between OSA and optimal abaca fiber content can significantly enhance the tensile performance of high-strength concrete.*

## Keywords:

*Oyster shell ash; abaca fiber; concrete; high strength; splitting tensile strength*

## Abstrak

Serat abaka merupakan material penguat alami yang berpotensi meningkatkan kinerja tarik beton. Namun, penerapannya pada beton mutu tinggi sering terkendala oleh penggumpalan serat, dan kajian terkait penggunaannya pada beton mutu tinggi masih terbatas. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan serat abaka yang dikombinasikan dengan 5% Abu Cangkang Tiram (ACT) sebagai pengganti sebagian semen dalam menghasilkan kuat tarik belah beton mutu tinggi. Benda uji berupa silinder berukuran 100 mm × 200 mm dibuat dengan variasi kadar serat abaka sebesar 0,15%, 0,30%, dan 0,45% dari berat semen. ACT diperoleh dari Krueng Neng, Aceh Besar, sedangkan serat abaka berasal dari Jawa Timur, Indonesia. Perancangan campuran mengacu pada pedoman ACI 211.4R-93 dan standar pengujian ASTM, dengan mutu rencana sebesar 9000 psi ( $\approx$  62 MPa). Setelah perendaman selama 28 hari, hasil pengujian menunjukkan bahwa kuat tarik belah terendah diperoleh pada beton normal (6,81 MPa), sedangkan nilai tertinggi dicapai pada campuran dengan 5% ACT dan 0,30% serat abaka (8,87 MPa). Temuan ini memperlihatkan bahwa kombinasi ACT dan kadar serat abaka yang optimal dapat secara signifikan meningkatkan kinerja tarik beton mutu tinggi.

## Kata Kunci:

Abu cangkang tiram; serat abaka; beton; mutu tinggi; kuat tarik

DOI: [10.38038/vocatech.v7i2.244](https://doi.org/10.38038/vocatech.v7i2.244)

Received: 15 August 2025; Accepted: 10 November 2025; Published: 17 December 2025

## \*Corresponding author:

Bunyamin Bunyamin, Universitas Iskandar Muda, Jl. Kampus Unida, Surien, Kec. Meuraxa, Kota Banda Aceh, Aceh 23234, Indonesia

Email: [bunyamin@unida-aceh.ac.id](mailto:bunyamin@unida-aceh.ac.id)

**Citation in APA Style:** Isnaini, I., Bunyamin., B., Pramanda, H., & Ridha, M. (2025). Pengaruh penambahan serat abaka dan substitusi 5% abu cangkang tiram dalam menghasilkan kuat tarik beton mutu tinggi. *VOCATECH: Vocational Education and Technology Journal*, 7(2), 190-201.

## 1. PENDAHULUAN

Beton serat ialah salah satu varian beton yang diaplikasikan di Indonesia. Beton ini tergolong sebagai material komposit yang terdiri atas semen, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan penambahan elemen serat, baik yang berasal dari sumber alami maupun sintetis. Serat tersebut umumnya berbentuk filamen berdiameter antara 5  $\mu\text{m}$  hingga 500  $\mu\text{m}$  dan panjang sekitar 25 mm, yang berfungsi meningkatkan sifat mekanis beton (Elfaleh et al., 2023). Integrasi serat ke dalam campuran beton terbukti mampu meningkatkan berbagai sifat mekanisnya, termasuk kuat tarik, kuat lentur, kuat tekan, serta daktilitas. Penelitian terdahulu menyebutkan bahwa penambahan serat pada beton, maka dapat meningkatkan kuat tariknya (Adibroto, 2014). Penambahan serat pada beton hingga batas 2% dari volume total campuran masih memungkinkan proses pengadukan berlangsung dengan baik tanpa mengganggu homogenitas beton (Codispoti et al., 2015).

Beton serat dapat dikategorikan berdasarkan jenis serat yang digunakan, yaitu serat alami (berasal dari alam) dan serat sintetis. Serat alami biasanya diperoleh dari sumber tumbuhan, hewan, maupun mineral, seperti serat abaka, serat kelapa, dan serat bambu, yang menawarkan keunggulan dari sisi ketersediaan dan keberlanjutan, meskipun memiliki variasi sifat mekanis yang cukup besar. Sementara itu, serat sintetis diproduksi secara industri, seperti serat *polipropilena*, baja, atau kaca, yang umumnya memiliki kekuatan tarik dan ketahanan terhadap degradasi yang lebih tinggi dibandingkan serat alami, sehingga sering digunakan untuk aplikasi struktural yang memerlukan kinerja mekanis optimal. Pada umumnya, serat sintetis menawarkan kekuatan tarik yang lebih besar dibandingkan serat alami (Tampi et al., 2020). Salah satu jenis serat yang digunakan untuk meningkatkan kekuatan tarik beton ialah serat abaka, yakni serat alami yang bersifat tahan lama dan fleksibel, diperoleh dari tanaman pisang. Serat ini banyak tersedia di Indonesia, namun pemanfaatannya masih terbatas. Penelitian terdahulu menyebutkan bahwa penambahan serat abaka ke dalam beton, yang memiliki panjang bervariasi antara 5–40 mm terbukti mampu meningkatkan kuat tarik maupun kuat lentur beton, meskipun peningkatannya relatif kecil (Montes et al., 2025). Penelitian lainnya juga menyebutkan bahwa limbah cangkang tiram yang disubstitusikan ke dalam semen, mampu meningkatkan kuat tarik beton sebesar 16%-20% (Chang et al., 2019). Oleh karena itu, dalam penelitian ini diperlukan kombinasi antara serat abaka dan limbah cangkang tiram dalam menghasilkan kuat tarik beton mutu tinggi.

Cangkang tiram merupakan limbah yang tak bernilai jika isi atau dagingnya sudah dikeluarkan dari dalamnya. Namun penggunaannya sudah sangat meluas di dunia konstruksi beton, karena kandungan kimianya yaitu CaO yang telah digunakan oleh para peneliti sebagai bahan perekat untuk mencampurkan semen di dalam beton. Adapun alumina dan silika juga terkandung di dalamnya, sehingga karakteristik kimia yang ada dalam cangkang tiram mirip seperti semen (Jeong et al., 2025). Hasil penelitian menunjukkan bahwa substitusi abu cangkang tiram pada semen sebesar 5% untuk Faktor Air Semen (FAS) 0,50 dan sebesar 10% untuk FAS 0,60 dapat memberikan peningkatan pada kuat tarik belah beton (Bunyamin, et al., 2021). Temuan penelitian lain mengindikasikan bahwa substitusi abu cangkang tiram sebesar 10% mampu meningkatkan kuat tekan beton secara signifikan (Bunyamin & Mukhlis, 2020).

Permasalahan dalam penelitian ini ialah sulitnya pengerjaan beton serat abaka dan penyebaran serat di dalam beton. Oleh karena itu, substitusi limbah cangkang tiram ke dalam semen diharapkan mampu mengatasi permasalahan tersebut sekaligus meningkatkan kekuatan beton secara lebih signifikan dibandingkan dengan penambahan serat abaka saja. Penelitian ini bertujuan untuk memperbaiki sifat *workability*, khususnya kemudahan pengadukan campuran beton dan persentase penyerapan air, melalui kombinasi penggunaan serat abaka dan limbah cangkang tiram. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk menentukan berat volume serta kuat tarik belah beton yang dihasilkan.

Dalam penelitian ini, perencanaan campuran beton berdasarkan kepada mutu beton 9000 psi atau sekitar 62 Mpa, sesuai dengan yang direkomendasikan dalam pedoman ACI 211.4R-93 bahwa mutu beton tinggi diklasifikasikan kepada: mutu beton < 9000 psi dan mutu beton > 9000 psi (ACI Committee 211, 1998). Bahan tambah yang digunakan berupa serat abaka sebesar 0,15%, 0,30%, dan 0,45% serta bahan substitusi berupa abu cangkang tiram ke dalam semen sebesar 5%, yang dimaksudkan untuk menambah kekuatan beton.

## 2. STUDI PUSTAKA

Beberapa studi literatur yang diuraikan di bawah ini merupakan sebagai referensi pendukung dalam melaksanakan penelitian ini. Adapun beberapa kajian literatur tersebut, yaitu:

## 2.1. Beton

Keunggulan utama beton adalah kemampuannya menahan beban tekan yang tinggi, sehingga material ini banyak dipilih sebagai elemen struktural, khususnya pada konstruksi bangunan bertingkat, jembatan, dan perkerasan jalan (Badan Standardisasi Nasional, 2013).

Beton umumnya terdiri atas sekitar 15% semen, 8% air, dan 3% udara, serta sisanya merupakan agregat halus serta agregat kasar. Sesaat setelah mengalami proses pengerasan, sifat-sifat beton yang dihasilkan dapat bervariasi, bergantung pada prosedur pembuatannya. Faktor-faktor seperti proporsi campuran, metode pencampuran, teknik pengangkutan, proses pengecoran, hingga metode pemadatan memiliki pengaruh signifikan terhadap karakteristik akhir beton (Nugraha & Antoni, 2007). Pada kondisi segar, beton dituntut memiliki kemudahan pengerjaan (*workability*) yang memadai, sedangkan pada kondisi mengeras, beton harus mampu menahan beban tekan serta memiliki durabilitas tinggi terhadap berbagai pengaruh lingkungan (Pertiwi, 2014).

## 2.2. Semen Portland

Semen Portland merupakan mempunyai sifat adhesi dan kohesi, sehingga mampu merekatkan partikel-partikel mineral menjadi padat. Semen portland tergolong semen hidrolis yang diproduksi melalui penggilingan klinker, yang utamanya tersusun atas senyawa kalsium silikat hidrolis (Andini et al., 2019).

Empat senyawa kimia utama yang berperan selama pengikatan maupun pengerasan semen ialah kalsium oksida atau batu kapur (*lime stone*, CaO), silika (SiO<sub>2</sub>), aluminium oksida atau Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, dan besi oksida atau Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Empat oksida utama tersebut membentuk sekitar 90% dari total massa semen, sedangkan sisanya, sekitar 10%, terdiri dari magnesium oksida (MgO), oksida alkali (Na<sub>2</sub>O dan K<sub>2</sub>O), titanium dioksida (TiO<sub>2</sub>), fosforus pentoksida (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), dan gipsium sebagai bahan tambahan.

## 2.3. Agregat

Agregat adalah butiran mineral yang berfungsi sebagai material pengisi pada campuran mortar maupun beton, dengan proporsi mencapai 60%–80% dari total volume campuran (Nugraha & Antoni, 2007). Mutu beton sangat bergantung pada kualitas agregat (halus dan kasar). Agregat berkualitas tinggi dapat menghasilkan beton dengan tingkat kemudahan pengerjaan (*workability*) yang baik, kekuatan serta daya tahan (*durability*) yang tinggi, dan efisiensi biaya yang optimal (Nugraha & Antoni, 2007). Kualitas agregat dinilai melalui pengujian sifat fisik, yaitu: berat volume, berat jenis, gradasi butir, dan daya serap air. Pengujian ini dilakukan untuk supaya agregat yang diaplikasikan memenuhi standar kualitas yang diperlukan guna menghasilkan beton dengan kinerja optimal (Mulyono, 2004).

Berat jenis dan daya serap air agregat merupakan faktor penting yang memengaruhi mutu agregat penyusun mortar maupun beton. Berat jenis agregat didefinisikan sebagai perbandingan antara massa pada volume agregat (tanpa *void*) dengan massa air pada volume yang sama (Mandela & Purwantoro, 2018). Berat jenis dipakai untuk mengetahui ukuran ruang yang ditempati oleh agregat. Daya serap air (*absorption*) merupakan persentase perbandingan antara massa air yang dapat diserap oleh agregat pada kondisi SSD (*saturated surface-dry*) dengan massa agregat dalam kondisi kering oven (Mandela & Purwantoro, 2018).

Berat volume agregat (*bulk density*) didefinisikan sebagai perbandingan antara massa agregat kering oven yang dipadatkan secara standar dengan volume wadah yang menampungnya. Untuk digunakan sebagai material penyusun beton yang berkualitas baik, nilai berat volume agregat normal sebaiknya melebihi 1,445 kg/L (Orchard et al., 1979).

Gradasi adalah distribusi proporsi ukuran butir agregat dalam suatu campuran beton, yang berperan penting dalam menentukan kepadatan, *workability*, serta kekuatan beton yang dihasilkan. Gradasi yang paling baik adalah ada dan tersedianya berbagai variasi ukuran agregat dari yang terbesar hingga terkecil serta tersebar secara merata dalam beton secara homogen. Gradasi yang sesuai dengan persyaratan yang ditentukan, tentunya akan menghasilkan kuat tarik beton yang sesuai dengan yang direncanakan dan memiliki *workability* yang tinggi (Pertiwi, 2014).

## 2.4. Air

Air memiliki fungsi yang sangat krusial dalam dunia konstruksi, terutama untuk pembuatan beton, pemadatan kapur, perawatan beton, serta sebagai bahan campuran untuk pengikatan pasangan dan plesteran. Dalam proses pembuatan adukan beton, air berperan dalam memicu reaksi kimia yang menghubungkan pasta semen dengan agregat saat proses pengeringan, sekaligus berfungsi sebagai pelumas untuk mempermudah pencetakan campuran kerikil, pasir, dan semen (Tjokrodimulyo, 2007).

Air yang diaplikasikan pada beton umumnya memenuhi kriteria air minum, meskipun tidak harus sepenuhnya memenuhi standar tersebut. Jika air yang digunakan setara dengan kualitas air minum,

pemeriksaan visual dapat dilakukan untuk memastikan bahwa air tersebut tidak berwarna, tidak berbau, dan memiliki kejernihan yang memadai.

## 2.5. Beton Serat

Beton serat cenderung memiliki tingkat kemudahan pengerjaan (*workability*) yang lebih rendah, material ini menawarkan sejumlah keunggulan, di antaranya risiko segregasi yang lebih kecil, sifat daktilitas yang tinggi, serta ketahanan yang baik terhadap benturan (Nanda et al., 2024).

Beton serat merupakan bahan yang dibuat dari kombinasi semen hidrolis, agregat halus, dan agregat kasar, ditambah dengan serat yang berfungsi sebagai penguat. Penambahan serat pada campuran beton umumnya mengurangi kelecakan (*workability*) secara nyata, terutama ketika konsentrasi serat dan nilai *aspect ratio* (rasio panjang terhadap diameter serat) meningkat (Elfaleh et al., 2023). Secara dasar, beton serat menggunakan serat sebagai penguat di dalam campuran beton yang terdistribusi secara merata dengan arah yang acak. Penyebaran ini berfungsi untuk menahan munculnya retak awal akibat beban, sehingga mampu meningkatkan kekuatan struktural serta durabilitas beton (Hassanpour et al., 2012).

Penambahan serat ke dalam adukan beton, dapat memperbaiki berbagai karakteristik mekanis dan fisiknya, seperti daktilitas, kekuatan tarik dan ketahanan lentur, ketahanan terhadap beban berulang (*fatigue*), ketahanan susut, abrasi, fragmentasi, serta pengelupasan permukaan (Adibroto, 2014).

## 2.6. Serat Abaka

Serat abaka merupakan serat alami yang bersifat tahan lama dan fleksibel, berasal dari tanaman pisang abaka. Dibandingkan dengan serat pisang pada umumnya, serat abaka memiliki karakteristik mekanis yang lebih unggul, yaitu kuat tariknya mencapai 980 Mpa (Vijayalakshmi et al., 2014). Tidak seperti sebagian besar varietas pisang yang dimanfaatkan buahnya, pisang abaka justru diambil batangnya sebagai sumber serat. Tanaman ini termasuk penghasil serat nonkayu dengan panjang serat yang relatif besar, serta memiliki kekuatan tarik dan lentur yang baik, sekaligus ketahanan terhadap pembusukan (Punyamurthy et al., 2014).

Ketika serat bertambah, maka nilai *slump* akan semakin kecil, sehingga *workability* menurun. Serat abaka yang ditambahkan ke dalam beton dengan panjang bervariasi yaitu (5-40) mm, mampu memperkuat moderat pada kekuatan tarik maupun kekuatan lentur beton (Bledzki et al., 2008).

## 2.7. Cangkang Tiram

Cangkang tiram merupakan limbah yang mudah ditemukan di perairan. Pada saat ini, tumpukan limbah cangkang tiram dibuang dan tidak dimanfaatkan sehingga menjadi sampah dan mengganggu lingkungan di sekitar (Nika et al., 2020). Jika cangkang tiram dibakar pada suhu tertentu, maka menghasilkan sifat kimia CaO, yang merupakan bahan baku utama dalam pembuatan semen (Jeong et al., 2025).

Secara kimia, cangkang tiram tersusun terutama oleh kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) dalam bentuk aragonit dan kalsit, dengan sedikit kandungan magnesium, silika, dan bahan organik. Melalui proses pembakaran atau kalsinasi pada suhu tinggi (biasanya antara 800–1000°C), kalsium karbonat ini akan terdekomposisi menjadi kalsium oksida (CaO) dan karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ). Kalsium oksida merupakan salah satu komponen utama dalam pembuatan semen portland, berperan penting dalam pembentukan senyawa-senyawa pengikat seperti alit ( $\text{C}_3\text{S}$ ) dan belit ( $\text{C}_2\text{S}$ ) yang menentukan kekuatan awal dan akhir beton (Onoda & Nakanishi, 2012).

## 2.8. Kuat Tarik Belah Beton

Kuat tarik belah beton adalah nilai kuat tarik tidak langsung yang diperoleh dari pengujian benda uji beton berbentuk silinder berukuran 15 × 30 cm. Nilai ini dihitung berdasarkan hasil pembebanan pada benda uji yang diletakkan mendatar sejajar dengan permukaan meja penekan pada mesin uji tekan (Badan Standardisasi Nasional, 2014). Tujuan dari pengujian kuat tarik belah beton adalah untuk mengetahui daya ikatan antara semen dan agregat (American Society for Testing and Materials, 2000).

Kekuatan tarik beton merupakan sifat penting yang memengaruhi perkembangan serta ukuran retak pada struktur. Hal ini disebabkan oleh adanya retak-retak halus pada beton. Saat beton menerima beban tekan, retak-retak tersebut cenderung menutup sehingga tekanan dapat tersalurkan. Namun, kondisi berbeda terjadi ketika beton menerima beban tarik, di mana retak-retak tersebut justru berkembang dan melemahkan material. Walaupun biasanya kurang diperhatikan dalam perhitungan desain, daya tarik beton tetap memiliki peran krusial dalam menentukan ukuran elemen beton serta sejauh mana keretakan bisa terjadi (Manurung, 2020).

## 2.9. Perawatan Benda Uji

Perawatan beton merupakan langkah yang dilakukan sesudah pengecoran dan pembongkaran cetakan, bertujuan menghindari hilangnya air yang terlalu banyak. Proses ini pada prinsipnya bertujuan



mempertahankan kelembaban dan suhu beton agar reaksi hidrasi semen berlangsung optimal, sehingga kekuatan beton dapat berkembang secara maksimal sekaligus meminimalkan risiko retak pada permukaannya (Mulyati & Arkis, 2020).

Proses penghidratan beton akan lebih efektif jika dirawat dengan cara merendam daripada dengan menggunakan karung goni yang dibasahi. Selain itu, kualitas hidrasi beton dipengaruhi oleh perubahan kondisi cuaca selama periode perawatan (Syarifudin, 2017). Metode perawatan beton melalui penyiraman permukaan secara kontinu memerlukan durasi perawatan yang relatif lebih panjang untuk mencapai hasil yang optimal (Angjaya et al., 2013).

### 3. METODE PENELITIAN

Metode penelitian merupakan sekelompok tahap yang mencakup keseluruhan proses penelitian dari awal sampai selesai. Proses dalam studi ini dimulai dengan pengumpulan dan analisis bahan, diikuti dengan perancangan komposisi campuran beton, pembuatan serta perawatan sampel uji, pengukuran karakteristik sampel, sampai pada tahap terakhir yang berupa analisis data dari hasil pengujian.

#### 3.1. Persiapan Alat

Pada penelitian ini, alat penelitian yang digunakan pada umumnya telah tersedia di Laboratorium, antara lain: timbangan, satu set saringan ayakan, oven, cetakan benda uji, mesin pengaduk beton, kerucut *Abrams*, dan *compressive loading machine*. Pada penelitian ini, timbangan dipakai untuk menilai berat material yang membentuk beton sesuai dengan proporsi yang telah ditetapkan. Sebuah kumpulan alat saringan dipakai untuk menentukan gradasi agregat, sehingga nilai modulus kehalusan butiran pada agregat halus dan kasar dapat diukur. Tata letak saringan disusun dari yang memiliki diameter terbesar menuju yang terkecil. Oven digunakan untuk mengeringkan bahan saat pengujian yang membutuhkan keadaan kering, dengan suhu operasi berkisar antara 100°C hingga 115°C. Cetakan yang dipakai dalam studi ini terbuat dari material baja dengan bentuk silinder yang memiliki diameter 10 cm dan tinggi 20 cm.

Peralatan utama yang paling penting adalah mesin pengaduk beton, yang berfungsi untuk menggabungkan semua elemen yang membentuk beton, termasuk agregat halus, agregat kasar seperti pasir halus dan pasir kasar, batu pecah, semen, air, dan bahan tambahan lainnya. Pencampuran dilakukan dengan menggunakan *concrete mixer* yang memiliki kapasitas 50 liter untuk menjamin keseragaman campuran sesuai dengan standar pelaksanaan. Kerucut *Abrams*, yang disertai dengan pelat logam dan batang pemadat, dimanfaatkan untuk menilai kelecakan campuran beton secara mudah melalui pengujian *slump*. Perangkat ini memiliki diameter dasar sebesar 200 mm, diameter atas 100 mm, dan tinggi 300 mm. Benda uji yang telah mencapai umur perawatan, dilakukan pengujian menggunakan *Compressive Loading Machine 200 tf*. Alat tersebut digunakan untuk melaksanakan pengujian kuat tarik belah beton yang memiliki daya kuat tarik belah berkapasitas 200 ton. Peralatan lainnya yang digunakan berupa beberapa alat bantu antara lain sendok semen, ember, kontainer, palu karet, gerobak sorong, sekop, jangkang sorong, kuas, dan oli bekas.

#### 3.2. Persiapan Material

Penelitian ini memanfaatkan bahan seperti semen Portland Tipe I, pasir, kerikil (batu pecah), dan air. Pasir dan kerikil berfungsi sebagai pengisi, yang berasal dari proses pelapukan alami batuan di Sungai Krueng Aceh, Kota Jantho, Kabupaten Aceh Besar. Bahan tambahan yang dipakai meliputi serat abaka dengan variasi kadar 0,15%, 0,30%, dan 0,45% dari berat semen, serta abu cangkang tiram yang digunakan sebagai pengganti sebagian semen sebesar 5%.

Pada penelitian ini, semen yang digunakan merupakan semen Portland Tipe I yang diproduksi oleh PT Semen Andalas Indonesia. Uji laboratorium tidak dilaksanakan, sebab produk ini sudah memenuhi standar kualitas yang ditetapkan sesuai SNI 15-2049-2004 (Badan Standardisasi Nasional, 2004). Pemeriksaan semen hanya dilakukan dengan cara melihat secara langsung, mencakup kondisi fisik kemasan untuk memastikan tidak terdapat kerusakan seperti robekan, serta pengecekan kondisi butiran semen guna memastikan tidak terbentuk gumpalan atau bongkahan keras. Air yang digunakan adalah air yang tidak tercemar, bebas dari keruh, garam, dan bahan-bahan berbahaya lain yang dapat mempengaruhi karakteristik semen atau mengurangi mutu dan ketahanan beton.

Dalam studi ini, agregat kasar yang dipakai telah melewati tes kadar air, densitas, gradasi, dan berat volume sesuai dengan pedoman ASTM yang relevan. Agregat kasar tersebut berupa batu pecah dengan ukuran butir yang lulus saringan 9,52 mm dan diperoleh dari stok material di laboratorium. Agregat halus terdiri dari pasir yang memiliki ukuran butir yang melewati saringan 2,38 mm dan diambil dari stok laboratorium.

Serat abaka yang dipakai dalam studi ini merupakan serat abaka yang diperoleh dari pohon pisang. Serat abaka dapat dijumpai pada toko bahan bangunan di daerah Jawa Timur. Serat abaka yang diperoleh

dari toko bahan bangunan diolah menjadi potongan-potongan serat dengan panjang serat sekitar 3 cm. Sedangkan limbah dari cangkang tiram yang dipakai dalam studi ini diambil dari Krueng Neng, Aceh Besar. Setelah dikumpulkan, limbah tersebut dibawa ke laboratorium untuk dibersihkan dari kotoran yang menempel pada permukaannya. Selanjutnya, cangkang dibersihkan dan direndam selama satu hari, kemudian dijemur dalam oven laboratorium selama sehari penuh. Setelah kering, cangkang dibakar pada suhu 700°C dan kemudian diayak menggunakan saringan No. 200 untuk mendapatkan ukuran partikel yang tepat.

### 3.3. Pemeriksaan Sifat-Sifat Fisis Agregat

Contoh agregat yang dianalisis diambil secara acak dari lokasi penyimpanan, lalu direndam dalam air selama 24 jam untuk mendapatkan keadaan jenuh permukaan. Agregat yang telah jenuh air kemudian dihamparkan diatas lantai sambil dibalik-balikkan dengan menggunakan sisir besi untuk mengeringkan permukaan (SSD) secara merata. Cara pengukuran berat jenis pada agregat kasar yang dilakukan adalah menimbang keranjang kawat ( $W_c$ ), selanjutnya agregat yang lolos saringan dimasukkan ke dalam keranjang. Rendam agregat kasar yang berada di dalam keranjang lalu ditimbang ( $W_{csw}$ ).

Cara pengukuran berat jenis agregat halus yang dilakukan adalah dengan menimbang berat gelas *Thanol's* dan plat kaca ( $W_c$ ), selanjutnya sejumlah agregat yang telah SSD dimasukkan ke dalam gelas dan ditutup dengan plat kaca serta ditimbang beratnya ( $W_s$ ). Selanjutnya ke dalam gelas diisikan air sampai penuh dan kemudian ditutup dengan plat kaca. Gelas tersebut dibalik-balikkan sehingga seluruh udara di dalam keluar dan kemudian ditimbang ( $W_{esw}$ ), dilanjutkan dengan menimbang gelas kembali, air dan plat kaca ( $W_{cw}$ ).

Pemeriksaan berat volume agregat dilakukan sesuai metode ASTM pada kondisi kering oven. Pengukuran menggunakan timbangan dan wadah berkapasitas 1,500 liter. Agregat dimasukkan ke dalam wadah sebanyak tiga lapisan, setiap lapisan dipadatkan dengan tongkat besi berdiameter 16 mm sebanyak 25 kali, kemudian permukaan diratakan sejajar wadah dan ditimbang.

### 3.4. Perencanaan Campuran Beton

Perencanaan komposisi campuran beton dilakukan berdasarkan metode: *American Concrete Institute* (ACI) 211.4R-93. Kebutuhan air untuk setiap 1 m<sup>3</sup> beton dihitung dengan mempertimbangkan mutu beton rencana sebesar 9000 psi (sekitar 62 MPa). Diameter maksimum agregat yang digunakan adalah 3/8 inci (sekitar 9,52 mm), FAS (faktor air semen) 0,30, diameter maksimum agregat 9,52 mm. *Slump flow* yang direncanakan yaitu sekitar 500 mm s.d 700 mm. Benda uji silinder dengan dimensi 100 x 200 mm diaplikasikan ke dalam penelitian ini. Penentuan rasio air terhadap semen (FAS) dihitung menggunakan rumus sederhana, yaitu perbandingan antara jumlah air dengan jumlah semen. Bahan tambah berupa *superplasticizer* jenis *Viscocrete* (2% dari masa semen), serat abaka, serta bahan substitusi berupa abu cangkang tiram (sebanyak 8 kali percobaan secara eksperimental di Laboratorium).

Penelitian ini melibatkan proses pengecoran sebanyak delapan kali, dengan setiap kali pengecoran menghasilkan tiga benda uji berupa silinder dengan ukuran 10 cm × 20 cm, sehingga total terdapat 24 benda uji. Bahan tambahan yang dicampurkan ke dalam semen meliputi serat abaka dengan variasi kadar 0,15%, 0,30%, dan 0,45%, serta substitusi abu cangkang tiram sebesar 5%. Rincian komposisi campuran dalam beton diperlihatkan pada Tabel 1 berikut:

**Tabel 1.** Hasil rancangan campuran beton 1 m<sup>3</sup>

| Material      | Jumlah       |             | Satuan            |
|---------------|--------------|-------------|-------------------|
|               | Beton Normal | Beton ACT   |                   |
| Semen         | 587          | 557         | Kg/m <sup>3</sup> |
| ACT           | 0            | 29          |                   |
| Agregat Halus | 677          | 672         |                   |
| Split         | 944          | 944         |                   |
| Air           | 187          | 187         |                   |
| <b>Total</b>  | <b>2395</b>  | <b>2390</b> |                   |

### 3.5. Pembuatan Benda Uji

Sebelum proses pencetakan, bahan ditimbang sesuai dengan perbandingan yang telah direncanakan. Cetakan diolesi oli, lalu adukan dicampur dengan molen 50 liter yang telah dibersihkan dan dibasahi. Peralatan seperti pengukur berat volume, kadar air, dan kerucut slump diperiksa agar siap digunakan.

Setelah persiapan, pengadukan mortar beton dilakukan dengan memasukkan bahan secara berurutan: agregat kasar, agregat halus, semen, serat abaka, abu cangkang tiram, air, guna mencegah penggumpalan campuran (Bunyamin, et al., 2021; Hady et al., 2022). Pengadukan dilakukan ±15 menit dengan kemiringan sumbu molen 45°. Setelah homogen, campuran dituangkan ke wadah baja, lalu dilakukan *slump test* untuk mengevaluasi *workability* (Bunyamin et al., 2022; Bunyamin, et al., 2023; Muhajir et al., 2022).

Benda uji dibuat dengan menuangkan mortar ke cetakan silinder dalam tiga lapisan, masing-masing dipadatkan 25 kali menggunakan tongkat baja Ø16 mm, panjang 60 cm, dari ketinggian 30 cm. Permukaan cetakan diketuk palu karet agar padat. Setelah 24 jam, benda uji dilepas dan diberi kode sesuai rencana (Bunyamin, et al., 2023; Bunyamin et al., 2024; Permatasari et al., 2024).

Perawatan benda uji dilakukan pada umur  $\pm 12$  jam dengan membuka cetakan dan memberi nama pada setiap benda uji, kemudian direndam dalam bak perendaman tertutup agar terlindung dari pengaruh cuaca langsung.

### 3.6. Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Pengujian kuat tarik belah beton dilakukan setelah benda uji mencapai umur 28 hari. Benda uji kemudian ditempatkan pada mesin *Compressive Loading Machine* dengan kapasitas 200 ton, dan diberi beban secara perlahan hingga mencapai kekuatan tarik belah maksimum, yang ditandai dengan retak atau pecah pada benda uji.

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian meliputi pemeriksaan sifat-sifat fisis agregat, termasuk berat volume, berat jenis, pengambilan, dan susunan butir agregat; perencanaan campuran beton; pengujian aliran *slump*; berat volume; dan kekuatan tarik belah beton.

### 4.1. Hasil Pemeriksaan Sifat-Sifat Fisis Agregat

Hasil perhitungan berat volume rata-rata masing-masing agregat yang diaplikasikan dalam penelitian ini disajikan dalam Tabel 2 berikut:

**Tabel 2.** Hasil pemeriksaan berat volume agregat

| No | Jenis Agregat                           | Berat Volume (Kg/L) | Batas Ijin Troxell (1968) |
|----|---|---------------------|---------------------------|
| 1  | Agregat Halus ( <i>Fine Aggregate</i> ) | 1,684               | > 1,4 Kg/L                |
| 2  | Split ( <i>Coarse Aggregate</i> )       | 1,453               |                           |

Berdasarkan Tabel 2, berat volume agregat yang baik menurut Troxell et al (1968) yaitu lebih dari 1,4 kg/L. Pemeriksaan berat volume pada agregat halus dan agregat kasar (*split*) dalam penelitian ini memenuhi kriteria yang ditetapkan, sehingga dinyatakan layak digunakan sebagai material penyusun beton.

Hasil perhitungan berat jenis rata-rata untuk masing-masing agregat yang digunakan dalam penelitian ini ditampilkan pada Tabel 3 dan Tabel 4 berikut.

**Tabel 3.** Hasil pemeriksaan berat jenis agregat

| No | Jenis Agregat                           | Berat Jenis |        | Bata Ijin Troxell (1968) |
|----|---|-------------|--------|--------------------------|
|    |   | SG (SSD)    | SG(OD) |                          |
| 1  | Agregat Halus ( <i>Fine Aggregate</i> ) | 2,653       | 2,614  | 2,0 - 2,7                |
| 2  | Split ( <i>Coarse Aggregate</i> )       | 2,776       | 2,764  | 2,50 - 2,80              |

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 3, berat jenis agregat halus dan agregat kasar (*split*) yang digunakan dalam penelitian ini berada dalam kisaran yang direkomendasikan oleh Troxell et al (1968), yaitu 2,0–2,7 untuk agregat halus dan 2,50–2,80 untuk agregat kasar.

**Tabel 4.** Hasil pemeriksaan absorpsi agregat

| No | Jenis Agregat                           | Absorpsi (%) | Batas Ijin (Teori) |                |
|----|---|--------------|--------------------|----------------|
|    |   |              | Troxell (1968)     | Orchard (1979) |
| 1  | Agregat Halus ( <i>Fine Aggregate</i> ) | 1,480        | 0% - 2%            | 0,40% - 1,90%  |
| 2  | Split ( <i>Coarse Aggregate</i> )       | 0,435        | 0,05% - 1,00%      |                |

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 4, nilai absorpsi agregat halus dan agregat kasar (*split*) yang digunakan dalam penelitian ini berada dalam batasan yang direkomendasikan oleh Troxell et al (1968) dan Orchard et al (1979).

Hasil analisis saringan digunakan untuk menentukan distribusi pada ukuran butir agregat yang akan digunakan dalam campuran beton atau mortar. Perhitungan susunan butir dan nilai modulus kehalusan (*fineness modulus*) ditampilkan pada Tabel 5 berikut.

**Tabel 5.** Nilai *finenes modulus* (FM) dari analisa saringan

| No | Jenis Agregat                           | <i>Finenes Modulus</i> (FM) |
|----|---|-----------------------------|
| 1  | Agregat Halus ( <i>Fine Aggregate</i> ) | 2,75                        |
| 2  | Split ( <i>Coarse Aggregate</i> )       | 5,91                        |

Sesuai dengan hasil perhitungan yang ditunjukkan pada Tabel 5, agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini memenuhi syarat sebagai material yang dapat digunakan untuk membentuk beton dengan nilai *fineness modulus* berkisar antara 2,3 dan 3,1, seperti yang direkomendasikan atau ditentukan oleh ASTM C-33. *Fineness modulus* (FM) split atau batu pecah yang didapatkan sesuai dengan ketentuan ASTM yang disesuaikan dengan PBI 1979 yaitu dalam rentang 5,5-8,0.

Jadi, hasil pemeriksaan sifat fisis pada Tabel 2 s.d Tabel 5, menunjukan bahwa agregat memenuhi syarat sebagai material pembentukan beton. Selain itu, absorpsi agregat baik untuk agregat halus dan split (batu pecah) sudah memenuhi syarat seperti yang direkomendasikan oleh Troxell et al (1968) dimana nilai absorpsi agregat sebesar 0%-2%.

#### 4.2. Hasil Pengujian *Slump Flow*

*Slump flow* adalah kemampuan alir dari campuran beton segar dan digunakan untuk mengukur kecairan beton yang masih segar. Nilai *slump* dapat dilihat pada Tabel 6 berikut.

**Tabel 6.** Hasil Pengujian *slump flow* untuk pengecoran benda uji silinder sebanyak 24 buah

| No. | Beton Kombinasi ACT dan Serat Abaka | Variasi ACT (%) | Variasi Serat Abaka (%) | <i>Slump Flow</i> (cm) |
|-----|-------------------------------------|-----------------|-------------------------|------------------------|
| 1   | BN                                  | 0%              | 0,00%                   | 61,00                  |
| 2   | BSACT-1                             | 0%              | 0,15%                   | 58,50                  |
| 3   | BSACT-2                             | 0%              | 0,30%                   | 48,00                  |
| 4   | BSACT-3                             | 0%              | 0,45%                   | 41,50                  |
| 5   | BSACT-4                             | 5%              | 0,00%                   | 65,50                  |
| 6   | BSACT-5                             | 5%              | 0,15%                   | 60,50                  |
| 7   | BSACT-6                             | 5%              | 0,30%                   | 54,00                  |
| 8   | BSACT-7                             | 5%              | 0,45%                   | 48,50                  |

Keterangan:

|         |  |
|---------|--|
| BN      | = Beton Normal   |
| BSACT-1 | = Beton campuran Serat Abaka 0,15% tanpa Abu Cangkang Tiram            |
| BSACT-2 | = Beton campuran Serat Abaka 0,30% tanpa Abu Cangkang Tiram            |
| BSACT-3 | = Beton campuran Serat Abaka 0,45% tanpa Abu Cangkang Tiram            |
| BSACT-4 | = Beton tanpa Serat Abaka, dikombinasikan dengan Abu Cangkang Tiram 5% |
| BSACT-5 | = Beton Serat Abaka 0,15%, dikombinasikan dengan Abu Cangkang Tiram 5% |
| BSACT-6 | = Beton Serat Abaka 0,30%, dikombinasikan dengan Abu Cangkang Tiram 5% |
| BSACT-7 | = Beton Serat Abaka 0,45%, dikombinasikan dengan Abu Cangkang Tiram 5% |

Berdasarkan Tabel 6, dapat dilihat yaitu: semakin banyak serat abaka yang dicampurkan ke dalam beton, maka nilai daripada *slump flow* akan menurun. Hal ini dikarenakan oleh perencanaan FAS (Faktor Air Semen) yang rendah, sehingga jumlah airnya sedikit dan menghasilkan nilai *slump flow* yang rendah. Penelitian terdahulu juga memberikan kesimpulan yang sama (Hasan et al., 2022).

Berdasarkan Tabel 6, dapat dilihat bahwa nilai *slump flow* yang diperoleh dari beton substitusi ACT 5% yang dikombinasikan dengan serat abaka 0,15% dan 0,30% menunjukkan bahwa komposisi material beton bercampur dengan baik dan homogen. Hasil pengujian *slump flow* menunjukkan diameter *slump flow* yang baik, yaitu berada antara 50 s.d 70 cm, namun berbeda dengan halnya sebaran alir pada BSACT-2, BSACT-3, dan BSACT-7, yang memperoleh nilai *slump flow* di bawah 50 cm. Hal ini dipengaruhi oleh jumlah serat abaka yang ditambahkan yaitu 0,30% s.d 0,45%, sehingga proses hidrasi tidak bereaksi dengan baik. Penelitian terdahulu juga memberikan kesimpulan yang sama (Tampi et al., 2020).

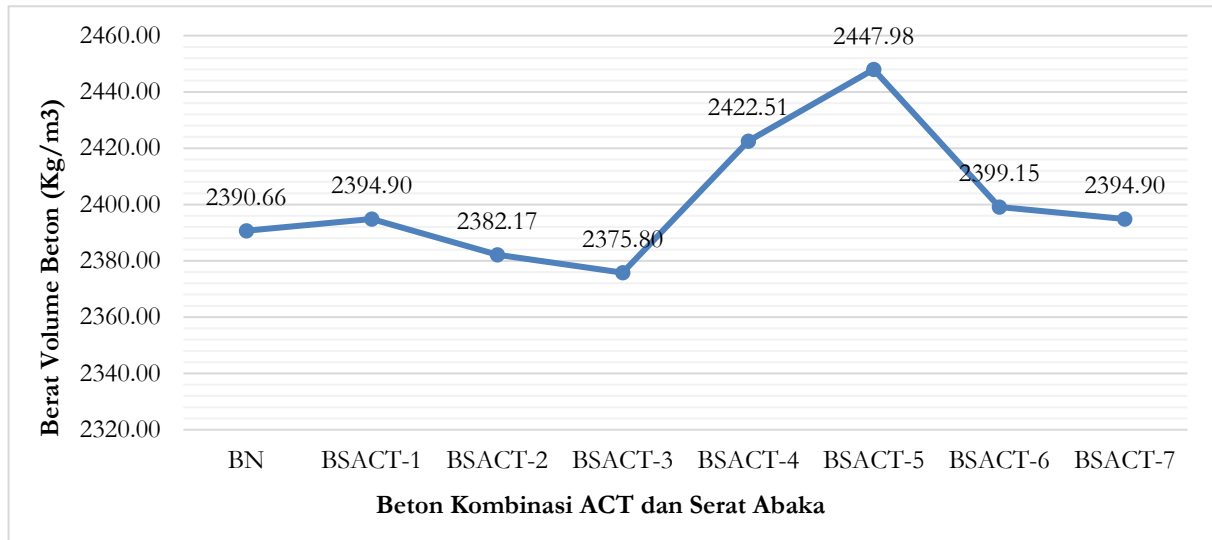
Berdasarkan Tabel 6, bahwa kandungan ACT 5% dalam beton, dapat mempengaruhi peningkatan workability pada beton. Peristiwa ini diperlihatkan pada BSACT-4, yang memiliki nilai *slump flow* maksimum, yaitu 65,50 cm. Penelitian terdahulu menyebutkan bahwa ACT yang disubstitusikan ke dalam beton, dapat menyesuaikan kemudahan pengaliran beton ketika dimasukkan ke dalam benda uji (Han et al., 2022).



Berdasarkan Tabel 6, dilihat bahwa serat abaka yang dicampurkan ke dalam beton s.d 0,45%, maka menghasilkan *workability* rendah, yaitu BSACT-3, yang memiliki nilai *slump flow* minimum, sebesar 41,50 cm. Hal ini terjadi karena terbentuknya penggumpalan ketika dicampurkan serat ke dalam adukan beton. Pencampuran serat dilakukan sedikit demi sedikit agar tersebar merata dan durasinya menjadi lama, sehingga banyak air yang hilang. Penelitian terdahulu juga memberikan kesimpulan yang sama (Manlapas et al., 2017).

#### 4.3. Hasil Pengujian Berat Volume Beton

Berat volume dapat dihitung dari massa dan dimensi (ukuran) benda uji yang diukur di laboratorium menggunakan timbangan digital. Hasil perhitungannya ditunjukkan pada Gambar 1 berikut.



**Gambar 1.** Grafik perbandingan berat volume beton normal dengan beton campuran abu cangkang tiram dan serat abaka

Dari Gambar 1, menunjukkan bahwa berat volume beton normal sebesar 2390,66 Kg/m³. Beton tambahan serat abaka 0,15%, 0,30%, dan 0,45% berturut-turut didapatkan nilai berat volumenya sebesar 2394,90 Kg/m³, 2382,17 Kg/m³, dan 2375,80 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 2422,51 Kg/m³, 2447,98 Kg/m³, 2399,15 Kg/m³, dan 2394,90 Kg/m³. Secara keseluruhan, berat volume beton dengan menggunakan bahan substitusi ACT 5% yang dikombinasikan dengan serat abaka meningkat dibandingkan dengan berat volume beton normal.

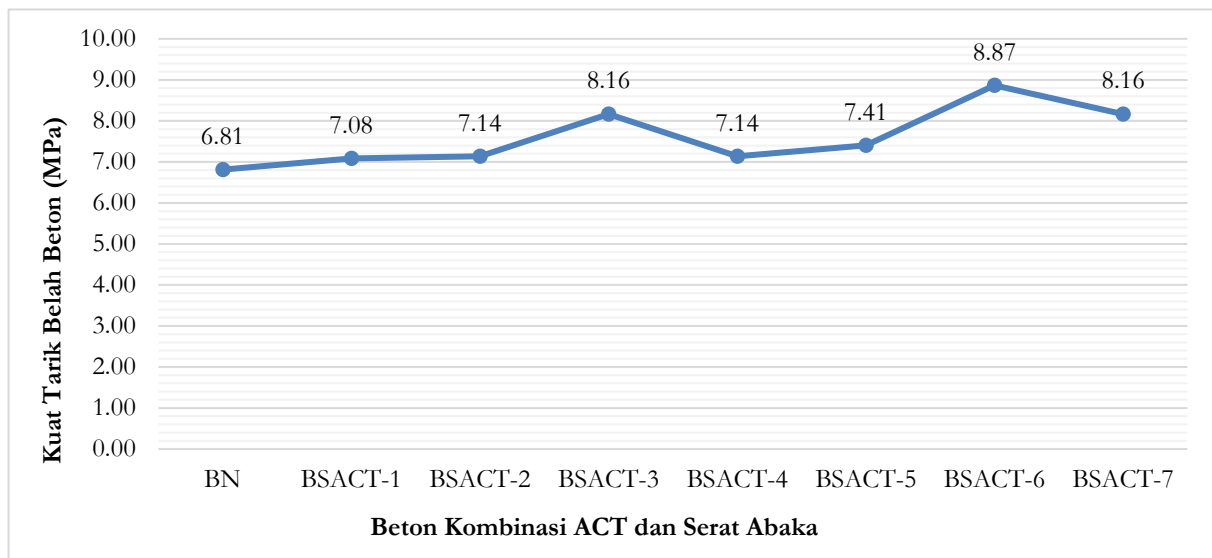
Dari Gambar 1, diperlihatkan bahwa berat volume beton tambahan serat abaka 0,15% meningkat dan terjadinya penurunan berat volume beton secara signifikan pada saat jumlah seratnya ditingkatkan menjadi 0,30% s.d 0,45%. Ardunay et al juga menyebutkan hal demikian (Ardanuy et al., 2015). Penelitian lainnya menyebutkan bahwa berat jenis serat abaka yaitu 1,50 gram/cm³ (lebih kecil dari berat jenis semen) dan ketika dicampurkan ke dalam semen dalam jumlah yang banyak, maka berat volume beton akan menurun signifikan (Faruk et al., 2012).

Berdasarkan Gambar 1, dapat dilihat bahwa berat volume beton akan menurun signifikan, jika serat abaka yang dicampurkan ke dalam semen terlalu banyak. Jumlah ACT 5% yang disubstitusikan ke dalam semen, dapat meningkatkan berat volume beton. Ketika ACT 5% dan serat abaka 0,15% dicampurkan ke dalam semen, maka berat volume beton masih meningkat. Namun ketika variasi serat abaka dinaikkan menjadi 0,45%, maka berat volumenya menurun signifikan. Sehingga, dapat dikatakan bahwa ACT memiliki sifat adhesi yang baik antar agregat dan dapat membentuk beton yang padat. Penambahan serat abaka sebesar 0,15% juga masih dapat mengisi ruang atau celah-celah antar agregat. Arvaniti et al juga menyebutkan hal serupa (Arvaniti et al., 2015).

#### 4.4. Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Pengujian kuat tarik belah dilakukan pada beton berumur 28 hari. Setelah direndam, benda uji dikeringkan 12–24 jam, lalu diberi beban vertikal secara bertahap menggunakan mesin uji hingga mencapai kekuatan maksimum.

Data hasil uji meliputi dimensi, massa, dan beban maksimum tiap benda uji. Nilai kuat tarik belah kemudian dihitung dan disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Grafik perbandingan kuat tarik belah beton normal dengan beton campuran abu cangkang tiram dan serat abaka

Berdasarkan Gambar 2, BN tercatat sebesar 6,81 MPa. Beton dengan penambahan serat abaka pada kadar 0,15%, 0,30%, dan 0,45% menunjukkan peningkatan kuat tarik belah beton berturut-turut sebesar 7,08 MPa, 7,14 MPa, dan 8,16 MPa. Sementara itu, beton campuran dengan substitusi abu cangkang tiram (ACT) sebesar 5% yang dikombinasikan dengan serat abaka pada kadar 0,00%, 0,15%, 0,30%, dan 0,45% menghasilkan kuat tarik belah beton: 7,14 MPa, 7,41 MPa, 8,87 MPa, dan 8,16 MPa. Data ini menunjukkan bahwa penggunaan substitusi ACT 5% bersama serat abaka dapat menaikkan nilai kuat tarik belah beton daripada beton normal.

Dengan campuran substitusi abu cangkang tiram (ACT) sebesar 5% dan tambahan serat abaka, kekuatan tarik belah beton rata-rata meningkat secara signifikan selama 28 hari, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Namun, substitusi ACT 5% secara sendiri tidak memberikan peningkatan yang berarti terhadap kuat tarik beton. Penelitian sebelumnya juga mengindikasikan bahwa penambahan serat abaka pada beton mampu meningkatkan kuat tarik secara signifikan (Rachman et al., 2020).

Beton BN, yang dibuat tanpa substitusi ACT dan serat abaka tambahan, memiliki kekuatan tarik belah minimum 6,81 MPa, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Beton BSACT-6 (beton substitusi ACT 5% dengan serat abaka 0,30%) memiliki kekuatan tarik belah tertinggi sebesar 8,87 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa kekuatan tarik beton dapat ditingkatkan oleh jumlah serat abaka yang ditambahkan ke dalamnya. Pada saat diberikan pembebanan, terjadinya gaya tarik terhadap benda uji silinder dan serat abaka menyerap energi beton, sehingga kuat tarik beton bertambah. Penelitian terdahulu juga memberikan kesimpulan yang sama (Bledzki et al., 2008).

Jumlah serat abaka yang berlebihan sebesar 0,45% yang ditambahkan ke beton menyebabkan penurunan kuat tarik beton BSACT-7, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Sehingga penyebaran serat menjadi tidak merata dan dapat menimbulkan porositas kecil dalam beton. Penelitian terdahulu menyebutkan bahwa perlu diberikan perhatian khusus terhadap jumlah penambahan serat di dalam beton, yang mana nantinya akan mempengaruhi besar atau kecilnya kuat tarik beton (Yang et al., 2010).

## 5. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh bahwa penambahan serat abaka ke dalam campuran beton, menyebabkan penurunan nilai *slump flow* dan berat volume beton. Namun, substitusi ACT sebesar 5% terhadap semen mampu meningkatkan nilai *slump flow* serta berat volume beton. Substitusi ACT sebesar 5% tersebut tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan kuat tarik belah beton. Sementara itu, penambahan serat abaka hingga kadar 0,30% dalam campuran beton terbukti dapat meningkatkan kuat tarik belah beton sebesar 30,25%.

## DAFTAR PUSTAKA

- ACI Committee 211. (1998). ACI 211.4R-93 Guide for selecting proportions for high-strength concrete with portland cement and fly ash. *Manual of Concrete Practice*, 93(Reapproved), 13.
- Adibroto, F. (2014). Pengaruh penambahan berbagai jenis serat pada kuat tekan paving block. *Jurnal Rekayasa VOCATECH: Vocational Education and Technology Journal* 7, 2 (2025): hal. 190-201

- Sipil (JRS-Unand)*, 10(1), 1–11.
- American Society for Testing and Materials. (2000). Standard test method for flexural strength of concrete (using simple beam with third-point loading) (ASTMC.78-94). In *American Society for Testing and Materials*.
- Andini, F., Suryani, L., & Amri, H. (2019). *Review Industri Semen*. INA-Rxiv.
- Angjaya, N., Kumaat, E. J., Wallah, S. E., & Tanudjaja, H. (2013). Perbandingan kuat tekan antara beton dengan perawatan pada elevated temperature & perawatan dengan cara perendaman serta tanpa perawatan. *JURNAL SIPIL STATIK*, 1(3), 153–158.
- Ardanuy, M., Claramunt, J., & Toledo Filho, R. D. (2015). Cellulosic fiber reinforced cement-based composites: A review of recent research. *Construction and Building Materials*, 79, 115–128.
- Arvaniti, E. C., Juenger, M. C. G., Bernal, S. A., Duchesne, J., Courard, L., Leroy, S., Provis, J. L., Klemm, A., & De Belie, N. (2015). Determination of particle size, surface area, and shape of supplementary cementitious materials by different techniques. *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, 48(11), 3687–3701. <https://doi.org/10.1617/s11527-014-0431-3>
- Badan Standardisasi Nasional, (BSN). (2004). Standar nasional indonesia tentang semen portland. In *Badan Standardisasi Nasional*.
- Badan Standardisasi Nasional, (BSN). (2013). Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung. In *Badan Standardisasi Nasional*.
- Badan Standardisasi Nasional, (BSN). (2014). Metode uji kekuatan tarik belah spesimen beton silinder. In *Badan Standardisasi Nasional*.
- Bledzki, A. K., Faruk, O., & Mamun, A. A. (2008). Influence of compounding processes and fibre length on the mechanical properties of abaca fibre-polypropylene composites. *Polimery/Polymers*, 53(2), 120–125. <https://doi.org/10.14314/polimery.2008.120>
- Bunyamin, B., Hady, M., Hendrifa, N., & Syakir, A. (2023). Analisis kuat tekan beton menggunakan bahan substitusi serat roving dan cangkang tiram. *Jurnal Serambi Engineering*, 8(3), 6104–6114.
- Bunyamin, B., Hady, M., Munirwan, R. P., Putra Jaya, R., & others. (2024). Cymbopogon nardus leaf ash as an alternative material for enhancing concrete strength. *Advances in Civil Engineering*, 2024.
- Bunyamin, B., Hendrifa, N., & Ridha, M. (2021). Pengaruh substitusi cangkang tiram sebagai pengganti sebahagian semen dan pasir halus terhadap kuat tarik belah beton. *TERAS JURNAL*, 11(2), 272–281.
- Bunyamin, B., Idroes, I., & Fauzha, R. W. (2023). Pengaruh serat ban bekas dan abu batu bara terhadap kuat tarik beton. *Jurnal Teknik Sipil Dan Teknologi Konstruksi*, 9(1).
- Bunyamin, B., Kurniasari, F. D., Munirwan, R. P., & Putra Jaya, R. (2022). Effect of coral aggregates of blended cement concrete subjected to different water immersion condition. *Advances in Civil Engineering*, 2022.
- Bunyamin, B., & Mukhlis, A. (2020). Utilization of oyster shells as a substitute part of cement and fine aggregate in the compressive strength of concrete. *Aceb International Journal of Science and Technology*, 9(3), 150–156. <https://doi.org/10.13170/aijst.9.3.17761>
- Bunyamin, B., Munirwan, R. P., Ridha, M., & Hendrifa, N. (2021). Utilization of wood processing dust as a substitute for a part of cement in concrete. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1087(1), 12004.
- Chang, C.-J., Chang, T.-P., Chen, C.-T., & Liu, Y.-W. (2019). Mix proportion and engineering behavior of san-ho-tu building material for temples and ancestral clan houses. In *Structural Analysis of Historical Constructions* (pp. 1585–1593). Springer.
- Codispoti, R., Oliveira, D. V., Olivito, R. S., Lourenço, P. B., & Figueiro, R. (2015). Mechanical performance of natural fiber-reinforced composites for the strengthening of masonry. *Composites Part B: Engineering*, 77, 74–83.
- Elfaleh, I., Abbassi, F., Habibi, M., Ahmad, F., Guedri, M., Nasri, M., & Garnier, C. (2023). A comprehensive review of natural fibers and their composites: An eco-friendly alternative to conventional materials. *Results in Engineering*, 19, 101271.
- Faruk, O., Bledzki, A. K., Fink, H.-P., & Sain, M. (2012). Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000–2010. *Progress in Polymer Science*, 37(11), 1552–1596.
- Hady, M., Bunyamin, B., Darwin, D., Rahman, A., & Satria, A. (2022). Pemanfaatan cangkang keong sawah sebagai substitusi sebahagian semen dan agregat halus terhadap kuat tekan beton. *Jurnal Teknik Sipil Dan Teknologi Konstruksi*, 8(1).
- Han, Y., Lin, R., & Wang, X. Y. (2022). Sustainable mixtures using waste oyster shell powder and slag instead of cement: Performance and multi-objective optimization design. *Construction and Building Materials*, 348, 128642. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128642>
- Hasan, M., Saidi, T., Jamil, M., Amalia, Z., & Mubarak, A. (2022). Mechanical properties and absorption of high-strength fiber-reinforced concrete (HSFRC) with sustainable natural fibers. *Buildings*, 12(12),

2262.

- Hassanpour, M., Shafigh, P., & Mahmud, H. Bin. (2012). Lightweight aggregate concrete fiber reinforcement--A review. *Construction and Building Materials*, 37, 452–461.
- Jeong, I., Hibino, T., Yoon, S., & Kim, K. (2025). The effects of calcined waste oyster shells on physicochemical changes in coastal sediments. *Journal of Marine Science and Engineering*, 13(3), 469.
- Mandela, W., & Purwantoro, A. D. S. (2018). *Panduan praktikum teknologi beton prodi teknik sipil Universitas Muhammadiyah Sorong*. INA-Rxiv.
- Manlapas, G. O., Cardenas, L. E., & Anacta, E. T. (2017). Utilization of bamboo fiber as a component material in concrete. *Indian J Sci Technol*, 11, 1–9.
- Manurung, F. V. B. R. (2020). *Analisis kuat tarik belah beton busa (foam concrete) dengan kombinasi bahan tambah serat sabut kelapa, serbuk cangkang telur dan abu sekam padi sebagai pengganti semen sebagian menggunakan metode eksperimen laboratorium*. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- Montes, A. A., Bastidas, S. A., & Echevarria, M. J. M. (2025). Experimental study on the effect of abaca fibers on reinforced concrete: Evaluation of workability, mechanical, and durability-related properties. *Fibers*, 13(6), 75.
- Muhajir, M., Idroes, I., & Bunyamin, B. (2022). Kontribusi serat limbah ban bekas kendaraan terhadap kuat tarik belah beton. *Jurnal Teknik Sipil Dan Teknologi Konstruksi*, 8(1).
- Mulyati, M., & Arkis, Z. (2020). Pengaruh metode perawatan beton terhadap kuat tekan beton normal. *Jurnal Teknik Sipil ITP*, 7(2), 5.
- Mulyono. (2004). *Teknologi beton*. In *Yogyakarta: Andi Offset*. ANDI.
- Nanda, S., Ramasubramani, R., Ravichandran, P. T., Arunkumar, E., Ananth, & Prathap, M. (2024). Investigating the mechanical characteristics of natural fiber (Abaca) and artificial fiber (Polypropylene) by experimentation and optimization for high strength concrete. *AIP Conference Proceedings*, 3187(1), 30012.
- Nika, J. W., Anisah, A., & Saleh, R. (2020). Pemanfaatan limbah cangkang kerang hijau dengan variasi suhu pembakaran sebagai bahan pengganti sebagian semen pada pembuatan beton. *Menara: Jurnal Teknik Sipil*, 14(1), 10–18.
- Nugraha, P., & Antoni, A. (2007). *Teknologi Beton; Dari Material, Pembuatan, Ke Beton Kinerja Tinggi*. ANDI.
- Onoda, H., & Nakanishi, H. (2012). Preparation of calcium phosphate with oyster shells. *Natural Resources*, 3(2), 71.
- Orchard, D. F., Curran, A., & Hearne, R. (1979). *Concrete technology-Volume 1-Properties of materials*.
- Permatasari, N., Bunyamin, B., Hady, M., Hafiz, D. A., Lathifah, N., & Auliyah, M. H. (2024). Utilization of rice field conch shells as a partial substitution of cement and fine aggregate for split tensile strength of concrete. *E3S Web of Conferences*, 476, 1018.
- Pertiwi, N. (2014). Pengaruh gradasi agregat terhadap karakteristik beton segar. *Jurnal Forum Bangunan*, 12(1).
- Punnamurthy, R., Sampathkumar, D., Ranganagowda, R. P., Bennehalli, B., Badyankal, P., & Venkateshappa, S. C. (2014). Surface modification of abaca fiber by benzene diazonium chloride treatment and its influence on tensile properties of abaca fiber reinforced polypropylene composites. *Ciência & Tecnologia Dos Materiais*, 26(2), 142–149.
- Rachman, L. H., Banjarsanti, S. S. N., & Pranoto, Y. (2020). Perbandingan serat abaka (*musa textillis* nee) dan serat sabut kelapa sebagai bahan tambah terhadap campuran beton. *JUTEKS: Jurnal Teknik Sipil*, 5(2), 115–119.
- Syaifudin, A. (2017). *Pengaruh variasi perawatan beton terhadap sifat mekanik high volume fly ash concrete untuk memproduksi beton kuat tekan normal*. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Tampi, R., Parung, H., Djamaluddin, R., & Amiruddin, A. A. (2020). Reinforced concrete mixture using abaca fiber. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 419(1), 12060.
- Tjokrodimulyo, K. (2007). *Teknologi beton (Edisi Pertama)*. In *Yogyakarta: Biro Penerbit KMTS FT UGM*.
- Troxell, G. E., Davis, H. E., & Kelly, J. W. (1968). *Composition and properties of concrete*. McGraw-Hill.
- Vijayalakshmi, K., Neeraja, C. Y. K., Kavitha, A., & Hayavadana, J. (2014). Abaca fibre. *Transactions on Engineering and Sciences*, 2(9), 16–19.
- Yang, E.-I., Kim, M.-Y., Park, H.-G., & Yi, S.-T. (2010). Effect of partial replacement of sand with dry oyster shell on the long-term performance of concrete. *Construction and Building Materials*, 24(5), 758–765.