



## Analisis Pengaruh Abu Serabut Kelapa Sebagai Substitusi Sebagian Semen Terhadap Kuat Tekan Beton Normal

Pentarina<sup>1</sup>, Fedya Diajeng Aryani<sup>2</sup>, Lalu Marzuandi<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Teknik Sipil, Universitas Gunung Rinjani, Indonesia

<sup>2</sup>Teknik Sipil, Universitas Gunung Rinjani, Indonesia

<sup>3</sup>Teknik Sipil, Universitas Gunung Rinjani, Indonesia

\*Email: pentarina.9401@gmail.com

### Info Artikel

#### Kata kunci:

Beton; abu serabut kelapa; substitusi semen; kuat tekan; bahan pozzolan.

### Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan abu serabut kelapa sebagai substitusi sebagian semen terhadap kuat tekan beton. Penelitian dilakukan secara eksperimental dengan lima variasi campuran, yaitu 0%, 1.5%, 2.5%, 3.5%, dan 4.5% dari berat semen. Sebanyak 15 benda uji silinder berukuran 15×30 cm diuji pada umur 28 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh variasi abu serabut kelapa menghasilkan kuat tekan lebih tinggi dibandingkan beton normal. Nilai tertinggi diperoleh pada kadar 4.5% dengan kuat tekan sebesar 32.77 MPa, meningkat sekitar 27.8% dibandingkan beton normal. Hal ini menunjukkan bahwa abu serabut kelapa memiliki aktivitas pozzolan yang mampu memperbaiki hasil hidrasi semen sehingga berpotensi sebagai bahan ramah lingkungan untuk mengurangi penggunaan semen dalam campuran beton.

### Abstract

*This study aims to determine the effect of coconut fiber ash as a partial replacement for cement on the compressive strength of concrete. The experiment was conducted using five mixture variations—0%, 1.5%, 2.5%, 3.5%, and 4.5% of cement weight. A total of 15 cylindrical specimens (15×30 cm) were tested at 28 days. The results show that all mixtures containing coconut fiber ash achieved higher compressive strength than normal concrete. The highest strength was obtained at 4.5%, reaching 32.77 MPa, which represents an increase of approximately 27.8% compared to normal concrete. These findings indicate that coconut fiber ash exhibits pozzolanic activity capable of enhancing cement hydration, making it a*

#### Keyword:

concrete; coconut fiber ash; cement replacement; compressive strength; pozzolanic material.

*potential eco-friendly material to reduce cement usage in  
concrete production.*

---

<https://doi.org/10.63982/dinamika.6mvpep41>

Received 23 Oktober 2025; Received in revised form 22 Januari 2026; Accepted 16 Februari 2026  
Available online 25 Februari 2026

## **Pendahuluan**

Beton merupakan material konstruksi yang paling banyak digunakan di dunia karena memiliki keunggulan dalam hal kekuatan tekan, ketahanan terhadap cuaca, serta kemudahan dalam pembentukan struktur. Menurut Mehta dan Monteiro (2014), beton digunakan pada lebih dari 70% proyek infrastruktur global, mulai dari bangunan bertingkat hingga jalan raya. Namun demikian, produksi semen sebagai bahan pengikat utama beton memberikan dampak negatif terhadap lingkungan, terutama karena emisi gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) yang dihasilkan selama proses kalsinasi klinker (Scrivener et al., 2018; Andrew, 2019). Berdasarkan laporan Global Cement and Concrete Association (GCCA, 2021), industri semen menyumbang sekitar 7–8% dari total emisi CO<sub>2</sub> global setiap tahunnya. Kondisi ini menuntut adanya upaya serius untuk mengembangkan inovasi bahan ramah lingkungan yang dapat mengurangi penggunaan semen tanpa menurunkan kualitas beton (Habert et al., 2020; Thomas et al., 2021). Salah satu pendekatan yang banyak diteliti adalah pemanfaatan bahan pozzolan alami maupun buatan sebagai substitusi sebagian semen dalam campuran beton (Neville & Brooks, 2010; Siddique & Khan, 2011).

Upaya untuk mengurangi konsumsi semen dapat dilakukan dengan memanfaatkan limbah industri maupun limbah organik yang memiliki kandungan senyawa pozzolan (Mahesh et al., 2018). Pozzolan merupakan bahan silika atau silika-alumina yang dalam bentuk halus dapat bereaksi dengan kalsium hidroksida (Ca(OH)<sub>2</sub>) hasil hidrasi semen, membentuk kalsium silikat hidrat (C–S–H) yang berperan penting terhadap peningkatan kekuatan beton (ASTM C618-19; Mindess et al., 2003). Pemanfaatan bahan pozzolan alami seperti abu sekam padi, abu sabut kelapa, abu bagasse, dan abu vulkanik telah banyak dikaji sebagai alternatif pengganti sebagian semen (Chindaprasirt et al., 2007; Cordeiro et al., 2009). Selain dapat menurunkan emisi karbon, penggunaan bahan-bahan tersebut terbukti mampu meningkatkan durabilitas, mengurangi porositas, serta memperbaiki mikrostruktur beton (Sata et al., 2012; Bahurudeen & Santhanam, 2015).

Abu serabut kelapa merupakan salah satu limbah organik hasil pembakaran sabut kelapa yang melimpah di daerah tropis, termasuk Indonesia. Limbah ini kaya akan kandungan silika (SiO<sub>2</sub>), alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), dan besi oksida (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) sehingga tergolong dalam bahan pozzolan alami (Muthadhi & Kothandaraman, 2013; Rajamane et al., 2014). Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa abu serabut kelapa yang dibakar pada suhu 600–700°C memiliki aktivitas pozzolanik yang cukup tinggi dan dapat meningkatkan sifat mekanik beton (Suhendra & Rukmana, 2020). Pemanfaatan limbah ini juga mendukung penerapan green construction dengan mengurangi jumlah limbah pertanian yang tidak termanfaatkan (Fitriani & Rahman, 2021).

Beberapa penelitian terdahulu melaporkan bahwa penambahan abu serabut kelapa dalam kadar tertentu mampu meningkatkan kuat tekan beton. Prakash dan Kumar (2019) menemukan bahwa kadar sekitar 5% dapat meningkatkan kuat tekan hingga 12% dibandingkan beton normal. Sementara itu, Sari dkk. (2020) melaporkan bahwa kadar optimal berada pada rentang 3–5%, di mana kadar yang terlalu tinggi justru menurunkan kekuatan akibat kelebihan material halus yang menghambat hidrasi.

Namun demikian, penelitian terkait pemanfaatan abu serabut kelapa hasil pembakaran terbuka yang merupakan metode paling umum dilakukan masyarakat di Indonesia masih sangat terbatas. Sebagian besar penelitian sebelumnya menggunakan abu hasil pembakaran tertutup atau furnace, yang memiliki karakteristik

fisik dan kimia berbeda. Kondisi ini menimbulkan research gap terkait bagaimana pengaruh abu serabut kelapa hasil pembakaran terbuka terhadap kuat tekan beton, terutama pada beton mutu  $f'c$  25 MPa.

Berdasarkan gap tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi abu serabut kelapa 0%, 1.5%, 2.5%, 3.5%, dan 4.5% sebagai substitusi sebagian semen terhadap kuat tekan beton pada umur 28 hari. Penelitian ini juga didasarkan pada hipotesis bahwa adanya aktivitas pozzolanik pada abu serabut kelapa dapat meningkatkan kuat tekan beton hingga mencapai kadar optimum tertentu, sebelum kemudian menurun pada kadar yang lebih tinggi akibat kelebihan partikel halus..

## Metode Penelitian

### Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental laboratorium yang dilaksanakan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Gunung Rinjani. Penelitian bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh penambahan abu serabut kelapa sebagai substitusi sebagian semen terhadap kuat tekan beton mutu rencana  $f'c = 25$  MPa. Bahan yang digunakan meliputi semen Portland tipe I, agregat halus alami, agregat kasar batu pecah, air bersih (PDAM), serta abu serabut kelapa hasil pembakaran terbuka.

Perencanaan campuran beton (mix design) mengacu pada SNI 03-2834-2000, dengan faktor air-semen (w/c ratio) sebesar 0,50, yang ditetapkan untuk mencapai mutu beton rencana serta memenuhi kebutuhan kelecakan beton segar. Abu serabut kelapa digunakan sebagai substitusi sebagian semen dengan variasi kadar 0%, 1,5%, 2,5%, 3,5%, dan 4,5% dari berat semen.

Benda uji berbentuk silinder berdiameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Untuk setiap variasi campuran dibuat tiga benda uji ( $n = 3$ ) sehingga total jumlah sampel adalah 15 benda uji. Jumlah sampel ini digunakan untuk memperoleh nilai rata-rata kuat tekan beton secara deskriptif.

### Prosedur Pembakaran dan Persiapan Abu Serabut Kelapa

Serabut kelapa kering dibakar menggunakan metode pembakaran terbuka dengan media wajan tanah liat hingga seluruh material berubah menjadi abu. Proses pembakaran dilakukan secara visual hingga tidak terlihat lagi serat organik yang tersisa. Meskipun suhu pembakaran tidak diukur secara langsung, berdasarkan referensi penelitian sebelumnya (Suhendra dkk., 2020), suhu pembakaran abu serabut kelapa dengan metode serupa diperkirakan berada pada kisaran 600–700°C. Abu hasil pembakaran kemudian didinginkan pada suhu ruang, diayak hingga lolos saringan No. 200 (75  $\mu$ m), dan disimpan dalam kondisi kering sebelum digunakan.

### Pencampuran, Pengecoran, dan Curing

Pencampuran beton dilakukan secara manual hingga diperoleh campuran yang homogen. Beton segar kemudian dicetak ke dalam cetakan silinder dan dipadatkan. Setelah 24 jam, benda uji dilepas dari cetakan dan dilakukan curing dengan metode perendaman air pada suhu ruang hingga umur pengujian. Prosedur curing ini bertujuan untuk menjaga kelembaban beton sehingga proses hidrasi semen dapat berlangsung secara optimal.

### Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 14 hari menggunakan mesin uji tekan sesuai dengan prosedur ASTM C39. Nilai kuat tekan 14 hari kemudian dikonversi ke umur 28 hari menggunakan faktor konversi empiris untuk beton normal, guna memperoleh estimasi kuat tekan beton pada umur rencana.

Penelitian ini dilakukan secara eksperimental di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Gunung Rinjani. Tujuan utama penelitian adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan abu serabut kelapa sebagai

substitusi sebagian semen terhadap kuat tekan beton. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari semen Portland tipe I sebagai bahan pengikat utama, abu serabut kelapa hasil pembakaran terbuka yang telah diayak hingga lolos saringan No. 200 (ukuran 75  $\mu\text{m}$ ), agregat halus berupa pasir alami yang diperoleh dari Desa Mamben, agregat kasar berupa kerikil pecah yang berasal dari Labuan Lombok, serta air PDAM sebagai bahan pencampur.

Mutu beton rencana yang digunakan adalah  $f'c = 25$  MPa dengan faktor air-semen (w/c ratio) yang disesuaikan berdasarkan rencana campuran menurut SNI 2834:2000. Variasi kadar abu serabut kelapa yang digunakan sebagai substitusi sebagian air semen yaitu 0%, 1.5%, 2.5%, 3.5%, dan 4.5% dari berat air semen. Setiap variasi campuran dibuat sebanyak tiga benda uji silinder berukuran 15 cm $\times$ 30 cm, sehingga total sampel yang digunakan dalam penelitian ini berjumlah 15 benda uji.

Kode Benda Uji	Berat (kg)					
	Semen	Air	Pasir	Batu Pecah	ASK	w/r
BN 0%	2,27	1,16	4,11	5,67	0,00	0,50
BASK 1,5%	2,24	1,16	4,11	5,67	0,02	0,50
BASK 2,5%	2,21	1,16	4,11	5,67	0,03	0,50
BASK 3,5%	2,19	1,16	4,11	5,67	0,04	0,50
BASK 4,5%	2,17	1,16	4,11	5,67	0,05	0,50

## Hasil dan Pembahasan

Untuk mendukung kelancaran pelaksanaan penelitian ini, peneliti bekerja sama dengan tim Laboratorium Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Lamongan. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, diperoleh beberapa temuan penelitian sebagai berikut:

### 1. Pengolahan Abu Serabut Kelapa

Proses pengolahan meliputi beberapa tahap sebagai berikut:

#### a) Pengumpulan Serabut Kelapa

Serabut kelapa yang akan digunakan adalah serabut kelapa kering yang sudah tidak ada kandungan air didalamnya dan didapatkan dari Desa Suela.



Gambar 1. Pengumpulan Serabut Kelapa

b) Pembakaran Serabut Kelapa

Serabut kelapa dibakar menggunakan wajan tanah liat hingga menjadi abu yang halus.



Gambar 2. Pembakaran Serabut Kelapa

c) Pendinginan

Abu hasil pembakaran didiamkan dan didinginkan pada suhu ruang selama kurang lebih 7 jam hingga benar-benar dingin.

d) Pengayakan

Abu yang sudah dingin kemudian diayak menggunakan ayakan dengan ukuran mesh No. 200 (ukuran lubang 75 mikrometer) untuk memperoleh partikel abu yang halus dan seragam.

e) Penyimpanan

Abu serabut kelapa yang sudah diayak disimpan dalam wadah tertutup dan kering.



Gambar 3. Abu Serrabut Kelapa

## 2. Pengujian Semen

### a) Berat Volume

Pengujian berat volume didapatkan rata-rata nilai berat volume tanpa rojokan dan dengan rojokan berturut sebesarnya  $1.25 \text{ gram/cm}^3$  dan  $1.48 \text{ gram/cm}^3$ .

## 3. Pengujian Abu Serabut Kelapa

### a) Berat Volume

Pengujian berat volume abu serabut kelapa didapatkan rata-rata nilai berat volume tanpa rojokan dan dengan rojokan berturut sebesarnya  $0.53 \text{ gram/cm}^3$  dan  $0.80 \text{ gram/cm}^3$ .

## 4. Pengujian Agregat Halus

### a) Kadar Air

Diperoleh hasil rata-rata sebesar 1.29 %. Menurut ASTM C-566-97 kelembaban agregat halus sangat kering ketika angkanya kurang dari 0.1 %, sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa agregat halus yang digunakan belum benar-benar kering.

### b) Berat Jenis dan Penyerapan

Berdasarkan ASTM C-128-01, syarat berat jenis agregat halus adalah antara  $2.4 \text{ gr/cm}^3$  –  $2.7 \text{ gr/cm}^3$ . Dari hasil pengujian diperoleh nilai berat jenis sebesar  $2.50 \text{ gram/cm}^3$ . Selain itu, berdasarkan ASTM C-128-01, nilai penyerapan agregat halus yang disyaratkan berada pada kisaran 1–4%. Hasil pengujian menunjukkan nilai penyerapan sebesar 2.36%, sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa agregat halus yang digunakan memenuhi syarat.

### c) Berat Volume

Berdasarkan perhitungan didapatkan rata – rata nilai berat volume tanpa rojokan dan dengan rojokan berturut sebesarnya  $1.37 \text{ gram/cm}^3$  dan  $1.66 \text{ gram/cm}^3$ .

### d) Analisa Saringan

Berdasarkan perhitungan disimpulkan bahwa agregat halus yang digunakan termasuk dalam kategori zona II, yaitu agregat halus dengan karakteristik sedang. Pada gambar 4.1 , terlihat bahwa agregat halus tersebut

memenuhi kriteria lengkung ayakan yang sesuai dengan standar ASTM C-136-01. Hasil pengujian menunjukkan nilai modulus kehalusan (FM) sebesar 2.4%.

## 5. Pengujian Agregat Kasar

### a) Kadar Air

Menurut standar ASTM C566, tingkat kelembaban yang diperbolehkan tidak boleh kurang dari 0.1%. Berdasarkan hasil pengujian yang disajikan dalam Tabel 4.11, nilai rata-rata kelembaban yang diukur adalah 1.63 %. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa kelembaban pada agregat kasar tersebut telah memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan.

### b) Berat Jenis dan Penyerapan

Berdasarkan standar ASTM C127, berat jenis yang disyaratkan untuk agregat kasar berada di kisaran 2.4 hingga 2.7. Dari hasil pengujian, didapatkan nilai berat jenis rata-rata sebesar 2.62 gram/cm<sup>3</sup>. Dengan demikian, nilai berat jenis yang diperoleh melalui pengujian tersebut telah memenuhi persyaratan yang ditetapkan. Selain itu, Berdasarkan hasil pengujian air resapan, diperoleh penyerapan sebesar 1.37 %. Nilai tersebut sudah memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan oleh ASTM C127 karena tidak lebih dari 2%.

### c) Berat Volume Agregat Kasar

Berdasarkan perhitungan didapatkn berat volume rata-rata agregat kasar dengan rojokan sebesar 1.66 gram/cm<sup>3</sup> sedangkan berat volume rata-rata agregat kasar tanpa rojokan sebesar 1.35 gram/cm<sup>3</sup>.

### d) Kadar Lumpur Agregat Kasar

Hasil pengujian menunjukkan bahwa kadar lumpur rata-rata adalah 0,89%. Menurut standar ASTM C33-03, kadar lumpur yang diperbolehkan adalah kurang dari 1%. Oleh karena itu, kadar lumpur yang diperoleh dari pengujian ini sudah memenuhi persyaratan yang ditetapkan.

### e) Analisa Saringan Agregat Kasar

Menurut gambar 4.2, gradasi yang dihasilkan dari pengujian Analisa ayakan agregat kasar berada dalam batas yang disyaratkan yaitu pada gradasi daerah II yaitu gradasi dengan jenis besar butir maksimum 20 mm, sehingga sesuai dengan standar yang ditetapkan oleh ASTM C136-01. Nilai modulus kehalusan (FM) rata-rata dari hasil pengujian yang tercantum pada Tabel 4.16 adalah sebesar 6.64%.

### f) Keausan

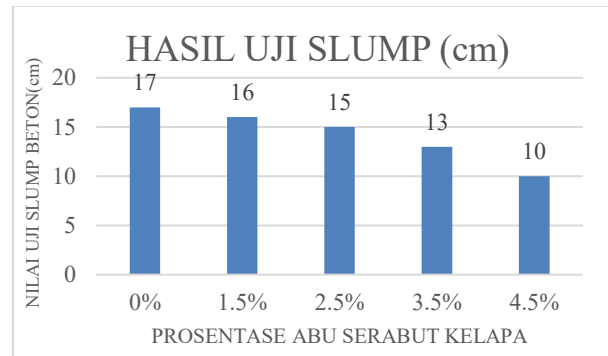
Berdasarkan hasil pengujian keausan agregat kasar dengan metode Los Angeles Abrasion diperoleh nilai keausan sebesar 27.11%. Nilai ini masih berada di bawah batas maksimum yang dipersyaratkan oleh ASTM C131, yaitu sebesar 40% untuk agregat yang digunakan pada beton struktural. Dengan demikian, agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini dapat dikategorikan memiliki ketahanan aus yang baik dan layak digunakan sebagai material campuran beton.

## 6. Mix Design

Perencanaan campuran beton dilakukan dengan menentukan proporsi bahan yang mengacu pada SNI 2834:2000. Mutu beton rencana yang digunakan adalah  $f'c = 25$  MPa, dengan pengujian yang dilakukan untuk mengetahui kualitas beton berupa pengujian kuat tekan pada umur 28 hari.

## 7. Pengujian Slump

Dalam penelitian ini perencanaan slump digunakan berkisar 60-180 mm.



Gambar 4. Hasil Pengujian Slump

Berdasarkan hasil pengujian slump pada seluruh variasi campuran beton, diperoleh nilai slump yang berada dalam rentang 60 mm hingga 180 mm. Dengan demikian, hasil tersebut memenuhi ketentuan SNI 2834:2000, di mana nilai slump untuk beton campuran normal tidak boleh kurang dari 60 mm dan tidak lebih dari 180 mm.

Hal ini menunjukkan bahwa beton yang dihasilkan memiliki kelecakan (workability) yang baik dan layak digunakan untuk proses pengecoran sesuai dengan rencana bersama  $f'_c = 25$  MPa.

### 8. Uji Kuat Tekan

Uji kuat tekan dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Gunung Rinjani untuk mengetahui pengaruh penambahan abu serabut kelapa sebagai substitusi sebagian semen terhadap kuat tekan beton.

Untuk memperoleh nilai kuat tekan beton digunakan rumus :

$$f'c = \frac{P}{A}$$

Dimana :

$f'c$  = Kuat Tekan benda uji (Mpa)

P = Beban Maksimum (N)

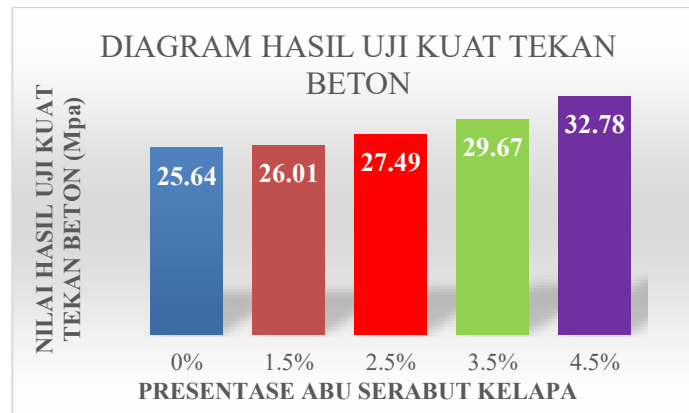
A = Luas Penampang (mm)

Rata-rata hasil pengujian kuat tekan beton normal dan beton dengan bahan tambah abu serabut kelapa ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 1. Hasil Uji Kuat Tekan

Kode Sample	Kuat Tekan ( $f'c$ ) (Mpa)	Kuat Tekan Rata-rata ( $f'cr$ ) (Mpa)
BN	25.42	25.63
	25.74	
	25.74	
ASK 1.5%	25.74	26.01
	26.55	
	25.74	
ASK 2.5%	27.68	27.48
	27.20	
	27.57	
ASK 3.5%	29.60	29.67
	29.92	
	29.49	
ASK 4.5	31.01	32.77
	34.11	
	33.21	

Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh variasi penambahan abu serabut kelapa (1.5% - 4.5%) menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan beton normal (0%). Nilai kuat tekan optimum pada penelitian ini diperoleh pada variasi 4.5% dengan capaian sebesar 32.8 MPa. Berdasarkan ketentuan SNI 2847:2019, nilai tersebut telah memenuhi persyaratan mutu minimum beton struktural yaitu 20 MPa serta beton untuk bangunan tahan gempa yaitu 21 MPa. Dengan demikian, beton yang menggunakan abu serabut kelapa sebagai substitusi sebagian semen dapat dinyatakan layak untuk digunakan pada pekerjaan konstruksi struktural, termasuk konstruksi bangunan yang direncanakan tahan gempa.



Gambar 5. Diagram Hubungan antara Persentase Abu Serabut Kelapa dan Kuat Tekan Beton

## Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai Pengaruh Penambahan Abu Serabut Kelapa sebagai Substitusi Sebagian Semen terhadap Kuat Tekan Beton, dapat disimpulkan bahwa penambahan abu serabut kelapa berpengaruh signifikan terhadap peningkatan kuat tekan beton. Beton normal tanpa abu serabut kelapa (0%) menghasilkan kuat tekan rata-rata sebesar 25.64 MPa, sedangkan penambahan abu serabut kelapa dengan variasi kadar 1.5%, 2.5%, 3.5%, dan 4.5% menunjukkan peningkatan kuat tekan secara bertahap hingga mencapai nilai tertinggi sebesar 32,77 MPa pada kadar 4.5%, atau meningkat sekitar 27.8% dibandingkan beton normal. Hasil tersebut menunjukkan bahwa abu serabut kelapa dapat berperan sebagai bahan pozzolan aktif yang memperbaiki hasil hidrasi semen melalui pembentukan senyawa mengikat tambahan kalsium silikat hidrat (C-S-H). Dengan demikian, kadar optimal abu serabut kelapa dalam penelitian ini berada pada 4.5% dari berat air semen. Secara keseluruhan, penggunaan abu serabut kelapa sebagai substitusi sebagian semen terbukti mampu meningkatkan kuat tekan beton dan berpotensi diterapkan sebagai alternatif bahan ramah lingkungan untuk mendukung pembangunan berkelanjutan di bidang konstruksi beton struktural.

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang telah dijelaskan pada landasan teori. Menurut Usrina, Karolina, dan Tarigan (2022), penambahan abu serabut kelapa pada kadar tertentu dapat meningkatkan kuat tekan beton karena kandungan silika ( $\text{SiO}_2$ ) dan alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) yang bersifat pozzolan dapat memperkuat ikatan pada campuran beton. Hasil serupa juga diperoleh oleh Affandy dan Bukhori (2019) yang menyatakan bahwa abu serabut kelapa mampu meningkatkan kuat tekan beton pada variasi kecil, serta oleh Puspitasari (2023) yang memperoleh peningkatan kuat tekan optimal pada kadar 4%. Dengan demikian, hasil penelitian ini mendukung kesimpulan dari penelitian terdahulu bahwa penggunaan abu serabut kelapa sebagai pengganti sebagian semen dapat meningkatkan kuat tekan beton pada kadar substitusi tertentu.

## Saran

- 1) Melakukan pengujian tambahan pada sifat mekanis lain seperti kuat tarik belah, modulus elastisitas, dan daya serap air agar hasil lebih menyeluruh.
- 2) Perlu pengujian pada umur beton yang lebih panjang (56–90 hari) untuk melihat perkembangan kekuatan terhadap waktu.

- 3) Pengendalian mutu bahan dan proses pencampuran, terutama pada penimbangan abu serabut kelapa, perlu dilakukan secara cermat agar hasil lebih konsisten

### **Daftar Pustaka**

- American Society for Testing and Materials. (1997) C29/C29M-97: Metode Uji Standar untuk Kepadatan Curah (“Berat Satuan”) dan Rongga dalam Agregat. Conshohocken Barat, PA: ASTM Internasional.
- American Society for Testing and Materials. (1997) C29-97: *Metode Uji Standar untuk Kepadatan Curah (“Berat Satuan”) dan Rongga dalam Agregat*. Conshohocken Barat, PA: ASTM Internasional.
- American Society for Testing and Materials. (1997) C566-97: *Metode Uji Standar untuk Kadar Air Total yang Dapat Diuapkan dari Agregat dengan Pengeringan*. Conshohocken Barat, PA: ASTM Internasional.
- American Society for Testing and Materials. (2001) C128-01: *Metode Uji Standar Massa Jenis, Massa Jenis Relatif (Gravitasi Spesifik), dan Penyerapan Agregat Kasar*. Conshohocken Barat, PA: ASTM Internasional.
- American Society for Testing and Materials. (2001) C128-01: *Metode Uji Standar Massa Jenis, Massa Jenis Relatif (Gravitasi Spesifik), dan Penyerapan Agregat Halus*. Conshohocken Barat, PA: ASTM Internasional.
- American Society for Testing and Materials. (2001) C136-01: *Metode Uji Standar untuk Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar*. Conshohocken Barat, PA: ASTM Internasional.
- American Society for Testing and Materials. (2003) C131-03: *Metode Uji Standar Ketahanan terhadap Degradasi Agregat Kasar Berukuran Kecil Akibat Abrasi dan Benturan pada Mesin Los Angeles*. Conshohocken Barat, PA: ASTM Internasional.
- American Society for Testing and Materials. (2019). C618-19: *Spesifikasi Standar untuk Abu Terbang Batubara dan Pozolan Alami Mentah atau yang Dikalsinasi untuk Penggunaan dalam Beton*. ASTM Internasional.
- Andrew, R.M. (2019). Emisi CO<sub>2</sub> global dari produksi semen. *Earth System Science Data*, 11(4), 1675–1710.
- Badan Standardisasi Nasional. (2000). SNI 03-2834-2000 : *Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal*. Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. (2012). SNI 7656:2012 – *Tata cara pemilihan campuran untuk beton normal, beton berat dan beton massa*. Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Chindaprasirt, P., Rukzon, S., & Sirivatnanon, V. (2007). Ketahanan terhadap penetrasi klorida pada mortar semen Portland campuran yang mengandung abu bahan bakar minyak sawit, abu sekam padi, dan abu

- terbang. *Konstruksi dan Bahan Bangunan*, 21(6), 1356–1361.
- Cordeiro, G.C., Toledo Filho, R.D., & Fairbairn, E.M.R. (2009). Penggunaan abu sekam padi ultrafine dengan kandungan karbon tinggi sebagai pozolan dalam beton kinerja tinggi. *Bahan dan Struktur*, 42(7), 983–992.
- Fitriani, N., & Rahman, M. (2021). Pemanfaatan limbah pertanian sebagai bahan tambahan semen untuk beton berkelanjutan. *Materi Jurnal Riset*, 5(1), 33–41.
- Global Cement and Concrete Association (GCCA). (2021). *Masa Depan Beton: Peta Jalan Industri Semen dan Beton GCCA 2050 untuk Beton Nol Bersih*.
- Habert, G., dkk. (2020). Dampak lingkungan dan strategi dekarbonisasi dalam industri semen dan beton. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1(11), 559–573.
- Mahesh, P., Kumar, P., & Reddy, Y. (2018). Tinjauan tentang penggunaan material semen tambahan dalam beton. *Jurnal Internasional Penelitian Teknik Sipil*, 9(2), 45–50.
- Mehta, P.K., & Monteiro, P.J.M. (2014). *Beton: Mikrostruktur, Sifat, dan Material*. McGraw-Hill.
- Muthadhi, A., & Kothandaraman, S. (2013). Investigasi eksperimental terhadap abu tempurung kelapa sebagai material semen tambahan. *Jurnal Bahan Konstruksi*, 8(3), 120–128.
- Neville, A.M., & Brooks, J.J. (2010). *Teknologi Beton*. Pearson Education.
- Scrivener, K., John, V.M., & Gartner, E. (2018). Semen ramah lingkungan: Solusi potensial dan layak secara ekonomi untuk industri material berbasis semen rendah CO<sub>2</sub>. UN Environment.
- Siddique, R., & Khan, M.I. (2011). *Material Semen Tambahan*. Springer.
- Suhendra, I., & Rukmana, D. (2020). Pengaruh penggunaan abu serabut kelapa terhadap sifat mekanik beton. *Jurnal Teknik Sipil*, 27(2), 45–52.
- Thomas, B.S., Yang, J., & Kim, J. (2021). Penggunaan material limbah dalam beton: Sebuah tinjauan. *Komposit Semen dan Beton*, 116, 103888.