

Pengaruh Penggantian Sebagian Semen dengan Abu Tempurung Kelapa terhadap Kinerja Beton

Bing Santosa ^[1], Arusmalem Ginting ^{[1]*}, Prasetya Adi ^[1], Eliada Obed Manasye ^[1]

^[1] Department of Civil Engineering, Universitas Janabadra, Yogyakarta, 55231, Indonesia

Email: bing@janabadra.ac.id, aginting@janabadra.ac.id*, prasetya@janabadra.ac.id, natsuobed@gmail.com

*) Correspondent Author

Received: 16 August 2022; Revised: 27 April 2023; Accepted: 03 May 2023

How to cited this article:

Santosa, B., Ginting, A., Adi, P., Manasye, E.O., (2023). Pengaruh Penggantian Sebagian Semen Dengan Abu Tempurung Kelapa Terhadap Kinerja Beton. Jurnal Teknik Sipil, 19(2), 278 – 292. <https://doi.org/10.28932/jts.v19i2.5286>

ABSTRAK

Beton hijau adalah beton ramah lingkungan yang dibuat dengan menggunakan limbah atau bahan sisa. Beton hijau dibuat menggunakan bahan alternatif untuk menggantikan sebagian semen atau agregat. Tempurung kelapa merupakan limbah padat dari hasil pengolahan kelapa yang belum dimanfaatkan secara maksimal sehingga abu tempurung kelapa perlu dicoba untuk menggantikan sebagian semen. Substitusi semen dengan abu tempurung kelapa yang digunakan adalah 2,5%, 5,0%, 7,5%, 10%, 12,5%, 15%, 17,5%, 20%, dan 22,5 % terhadap berat semen. Benda uji berupa silinder beton sebanyak 3 buah setiap variasi dan dengan jumlah total 30 buah. Pengujian yang dilakukan berupa pengujian *slump* untuk beton segar dan pengujian kuat tekan untuk beton keras setelah berumur 28 hari. Dari hasil penelitian didapat: abu tempurung kelapa mempunyai kandungan silika yang tinggi sehingga dapat digunakan sebagai pozzolan. Peningkatan persentase substitusi semen dengan abu tempurung kelapa menurunkan nilai *slump*. Substitusi semen dengan abu tempurung kelapa meningkatkan kuat tekan beton. Peningkatan persentase substitusi semen dengan abu tempurung kelapa menurunkan kuat tekan beton. Substitusi semen dengan abu tempurung kelapa tidak berpengaruh signifikan terhadap berat volume beton.

Kata kunci: Abu Tempurung Kelapa, Aksi Pozzolan, Beton Hijau, Kuat Tekan, Nilai Slump.

ABSTRACT. Effect of Partial Replacement of Cement with Coconut Shell Ash on Concrete Performance. Green concrete is environmentally friendly concrete made using waste or residual materials. Green concrete is made using alternative materials to partially replace cement or aggregate. Coconut shell is a solid waste from coconut processing that has not been utilized optimally so that coconut shell ash needs to be tried to replace some of the cement. The cement substitution with coconut shell ash used was 2.5%, 5.0%, 7.5%, 10%, 12.5%, 15%, 17.5%, 20%, and 22.5% by weight of cement. There are 3 concrete cylinder specimens for each variation and a total of 30 specimens. The tests carried out were slump testing for fresh concrete and compressive strength testing for hard concrete after 28 days. From the research results obtained: coconut shell ash has a high silica content so that it can be used as a pozzolan. Increasing the percentage of cement substitution with coconut shell ash decreases the slump value. The substitution of cement with coconut shell ash increases the compressive strength of concrete. Increasing the percentage of cement substitution with coconut shell ash reduces the compressive strength of concrete. The substitution of cement with coconut shell ash had no significant effect on the volume weight of the concrete.

Keywords: Coconut Shell Ash, Compressive Strength, Green Concrete, Pozzolanic Action, Slump Value.

1. PENDAHULUAN

Beton hijau adalah beton ramah lingkungan yang dibuat dengan menggunakan limbah atau bahan sisa. Beton hijau terbuat dari bahan yang menghasilkan sedikit karbon dioksida dalam proses pembuatannya dan dampak buruk terhadap lingkungan yang ditimbulkannya kecil. Keuntungan dari beton hijau adalah hemat energi dalam proses pembuatannya dan mengurangi emisi karbon dioksida di udara. Beton hijau dibuat menggunakan bahan alternatif untuk menggantikan sebagian semen atau agregat.

Pohon kelapa tumbuh subur di Indonesia. Pada tahun 2019 luas areal tanaman kelapa di Indonesia 3.401.893 ha, dengan produksi 2.839.852 ton. Perkebunan kelapa di Indonesia 99,06% merupakan perkebunan rakyat (Direktorat Jenderal Perkebunan Kementerian Pertanian Republik Indonesia, 2020). Tempurung kelapa merupakan limbah padat dari hasil pengolahan kelapa yang belum dimanfaatkan secara maksimal.

Dalam rangka pembuatan beton hijau, tempurung kelapa sudah dicoba untuk menggantikan sebagian agregat kasar (Ayyappa dkk., 2020; Goutam dkk., 2021; Rao dkk., 2015; Kumar dkk., 2017), abu tempurung kelapa menggantikan sebagian pasir (Aswathy dan Padmanaban, 2018; Raghuvanshi dan Saini, 2020).

Penggunaan abu tempurung kelapa sebagai pengganti sebagian semen juga sudah mulai banyak diteliti. Adajar dkk (2020) melakukan penelitian penggunaan abu tempurung kelapa yang dikalsinasi dengan pembakaran yang tidak terkontrol (*uncontrolled combustion*) yang berlangsung selama 4 jam. Tempurung kelapa yang telah dikalsinasi kemudian dihancurkan dan digiling untuk menghasilkan abu. Abu tempurung kelapa/*Coconut Shell Ash* (CSA) digunakan sebagai substitusi semen sebesar 10%, 20%, 30%, dan 40%, dari berat semen. Faktor air semen yang digunakan tetap sebesar 0,6. Dari hasil penelitian didapat semakin tinggi substitusi semen dengan abu tempurung kelapa mengakibatkan semakin rendah kuat tekan beton pada umur 7, 14, 21, 28, 50, dan 90 hari. Kuat tekan beton dengan 10% CSA adalah 92,10% dari kuat tekan beton normal. Kadar abu tempurung kelapa optimum sebagai pengganti semen adalah 10% dimana durabilitas dan kekuatannya dapat diterima dan dapat menurunkan biaya produksi beton.

Utsev dan Taku (2012) melakukan penelitian menggunakan abu tempurung kelapa yang dibakar di udara terbuka (*uncontrolled combustion*) selama tiga jam untuk menghasilkan abu tempurung kelapa yang digunakan sebagai substitusi semen secara parsial dalam pembuatan beton. Substitusi semen dengan abu tempurung kelapa yang digunakan adalah: 0, 10, 15, 20, 25 dan 30%, dengan faktor air semen 0,5. Pengujian dilakukan pada umur 7, 14 dan 28 hari. Dari hasil penelitian didapat substitusi semen dengan abu tempurung kelapa mengakibatkan penurunan kuat tekan beton pada semua umur. Kuat tekan beton semakin menurun dengan

meningkatnya persentase substitusi semen dengan abu tempurung kelapa. Penggantian 10-15% semen dengan abu tempurung kelapa direkomendasikan untuk produksi beton berat dan ringan.

Nagarajan dkk (2014) melakukan penelitian menggunakan tempurung kelapa yang dibakar di udara terbuka (*uncontrolled combustion*) selama tiga jam dan kemudian dibakar lagi pada *muffle furnace* pada suhu 800°C selama 6 jam untuk menghasilkan abu tempurung kelapa, yang selanjutnya digunakan sebagai pengganti sebagian semen. Substitusi semen dengan abu tempurung kelapa adalah 0, 10, 15, 20, 25, dan 30%. Perbandingan campuran 1:2:4, dan faktor air semen 0,5. Pengujian dilakukan pada umur 7, 14, dan 28 hari. Dari penelitian didapat hasil bahwa substitusi semen dengan abu tempurung kelapa mengakibatkan peningkatan waktu ikat awal (*initial setting time*) dan waktu ikat akhir awal (*final setting time*). Waktu ikat awal dan waktu ikat akhir semakin meningkat dengan meningkatnya persentase substitusi semen dengan abu tempurung kelapa. Substitusi semen dengan abu tempurung kelapa mengakibatkan penurunan kuat tekan beton pada semua umur.

Adeala dkk (2020) melakukan penelitian menggunakan tempurung kelapa yang dijemur di bawah sinar matahari selama 48 jam dan kemudian dimasukkan ke dalam tungku listrik selama 3 jam dan kemudian dibiarkan dingin untuk menghasilkan abu tempurung kelapa. Substitusi semen dengan abu tempurung kelapa yang digunakan adalah 0, 5, 10, 15, dan 20%. Perbandingan campuran 1:2:4, dan faktor air semen 0,5. Pengujian dilakukan pada umur 7, 14, 21, dan 28 hari. Dari hasil penelitian didapat bahwa substitusi semen dengan abu tempurung kelapa mengakibatkan penurunan nilai *slump*. Nilai *slump* semakin menurun dengan meningkatnya persentase substitusi semen dengan abu tempurung kelapa. Substitusi semen dengan abu tempurung kelapa mengakibatkan penurunan kuat tekan beton.

Bheel dkk (2021) melakukan penelitian menggunakan tempurung kelapa yang dikeringkan dan kemudian dihancurkan hingga ukuran yang sangat kecil. Tempurung kelapa yang dihancurkan dibakar pada suhu tinggi pada kisaran 500 hingga 550 °C selama lebih kurang 6 jam untuk mendapatkan abu tempurung kelapa. Abu tempurung kelapa didinginkan dan digiling untuk mendapatkan partikel yang lebih halus. Substitusi semen dengan abu tempurung kelapa yang digunakan adalah 0, 5, 10, 15, dan 20%. Dari hasil penelitian didapat bahwa substitusi semen dengan abu tempurung kelapa mengakibatkan penurunan nilai *slump* campuran. Nilai *slump* semakin menurun dengan meningkatnya persentase substitusi semen dengan abu tempurung kelapa karena penyerapan air abu tempurung kelapa tinggi. Substitusi semen dengan abu tempurung kelapa mengakibatkan penurunan berat satuan (*density*). Berat satuan semakin menurun dengan meningkatnya substitusi semen dengan abu tempurung kelapa karena berat jenis abu tempurung kelapa lebih rendah dari semen. Substitusi semen dengan abu tempurung kelapa sampai 10% mengakibatkan peningkatan kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur. Substitusi

semen dengan abu tempurung kelapa lebih dari 10% mengakibatkan penurunan kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur. Peningkatan kekuatan berkaitan dengan efek pengisian pori dan reaksi pozzolan dari abu tempurung kelapa. Penurunan kekuatan karena efek pengenceran oleh abu tempurung kelapa terhadap semen. Substitusi semen dengan abu tempurung kelapa meningkatkan modulus elastisitas. Modulus elastisitas semakin meningkat dengan meningkatnya substitusi semen dengan abu tempurung kelapa.

Premaraj dan Kumar (2019) melakukan penelitian menggunakan tempurung kelapa yang dijemur selama 48 jam, dan kemudian dilakukan pembakaran yang tidak terkontrol (*uncontrolled combustion*) dengan pembakaran udara terbuka (*open air burning*) selama 3 jam untuk mendapatkan abu tempurung kelapa. Perbandingan campuran yang digunakan 1:2:4 dan faktor air semen 0,5. Substitusi semen dengan abu tempurung kelapa yang digunakan adalah 10%, 15%, dan 20%. Dari hasil penelitian didapat bahwa nilai *slump* semakin menurun dengan meningkatnya persentase substitusi semen dengan abu tempurung kelapa. Kuat tekan semakin menurun dengan meningkatnya persentase substitusi semen dengan abu tempurung kelapa. Kuat tarik belah dan kuat lentur semakin meningkat dengan meningkatnya persentase substitusi semen dengan abu tempurung kelapa.

Joseph dkk (2015) melakukan penelitian menggunakan tempurung kelapa yang dijemur selama 48 jam dan kemudian dibakar pada tungku selama 24-48 jam untuk mendapatkan abu tempurung kelapa. Perbandingan campuran yang digunakan 1:2:4 dan faktor air semen 0,63. Substitusi semen dengan abu tempurung kelapa yang digunakan adalah 10%, 20%, 30%, 40%, dan 50%. Dari hasil penelitian didapat bahwa kuat tekan semakin menurun dengan meningkatnya persentase substitusi semen dengan abu tempurung kelapa. Substitusi semen dengan abu tempurung kelapa sebesar 10% menghasilkan kuat tekan yang tidak terlalu jauh berbeda dari beton normal. Penggunaan abu tempurung kelapa sebagai pengganti sebagian semen dalam beton akan mengurangi biaya produksi dan pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh pembuangan limbah-limbah pertanian.

Kumar dkk (2017) melakukan penelitian substitusi semen dengan abu tempurung kelapa dan bubuk cangkang telur. Proporsi volume campuran beton (semen:agregat halus:agregat kasar) adalah 1:1,6:2,6 dan faktor air semen 0,45. Substitusi semen dengan abu tempurung kelapa dan bubuk cangkang telur sebesar 5%-25% dari berat semen. Dari hasil penelitian didapat bahwa substitusi semen dengan abu tempurung kelapa dan bubuk cangkang telur sampai 10% meningkatkan kuat tekan beton, kuat tarik belah, dan kuat lentur. Substitusi semen dengan abu tempurung kelapa dan bubuk cangkang telur lebih dari 10% menurunkan kuat tekan beton, kuat tarik belah, dan kuat lentur. Substitusi 10% semen dengan abu tempurung kelapa dan bubuk

cangkang telur mencapai kekuatan seperti beton normal. Abu tempurung kelapa dan bubuk cangkang telur dapat digunakan menjadi bahan pengikat yang bermanfaat.

Hasan dkk (2016) melakukan penelitian penggunaan abu tempurung kelapa dan debu batu sebagai pengganti sebagian dari semen. Substitusi semen dengan abu tempurung kelapa dan debu batu sebesar 0%, 10%, 20%, dan 30%. Dari hasil penelitian didapat bahwa substitusi semen dengan abu tempurung kelapa dan debu batu sebesar 10% mengakibatkan peningkatan kuat tekan beton. Substitusi semen dengan abu tempurung kelapa dan debu batu sebesar 20% dan 30% mengakibatkan penurunan kuat tekan beton. Substitusi semen dengan abu tempurung kelapa dan debu batu sebesar 10% mengakibatkan peningkatan nilai modulus elastis dan tegangan lentur. Substitusi semen dengan abu tempurung kelapa dan debu batu sebesar 20% dan 30% mengakibatkan penurunan nilai modulus elastis dan tegangan lentur.

Bhartiya dan Dubey (2018) melakukan penelitian menggunakan abu tempurung kelapa dan bubuk cangkang telur sebagai pengganti sebagian dari semen. Substitusi semen dengan abu tempurung kelapa dan bubuk cangkang telur sebesar 5%, 10%, 12%, dan 13%. Dari hasil penelitian didapat bahwa substitusi semen dengan abu tempurung kelapa dan bubuk cangkang telur sebesar 10% menghasilkan kuat tekan yang maksimal. Substitusi semen dengan abu tempurung kelapa dan bubuk cangkang telur lebih dari 10% mengakibatkan penurunan kuat tekan. Substitusi semen dengan abu tempurung kelapa dan bubuk cangkang telur hingga 12% kuat tekannya masih sedikit lebih besar dari beton normal. Pada substitusi semen dengan abu tempurung kelapa dan bubuk cangkang telur sebesar 13% kuat tekannya lebih kecil dari beton normal.

Langitan dkk (2022) melakukan penelitian menggunakan abu arang tempurung kelapa sebagai substitusi parsial semen. Substitusi semen dengan abu arang tempurung kelapa yang digunakan sebesar 5%, 10%, dan 15%. Dari hasil penelitian didapat bahwa substitusi semen dengan abu arang tempurung kelapa mengakibatkan penurunan kuat tekan beton.

Dalam beberapa tahun terakhir ada perhatian besar tentang bahan baru untuk substitusi semen. Tempurung kelapa tersedia dalam jumlah besar di lahan pertanian dan dianggap sebagai produk limbah. Produksi semen banyak mengeluarkan gas beracun di atmosfer yang menyebabkan pencemaran lingkungan dan efek rumah kaca. Abu tempurung kelapa dapat digunakan sebagai bahan substitusi semen pada pembuatan beton untuk pembangunan berkelanjutan (Bheel dkk, 2021).

Pada tahun 2019 luas areal tanaman kelapa di Yogyakarta 39.905 ha, dengan produksi 48.066 ton (Direktorat Jenderal Perkebunan Kementerian Pertanian Republik Indonesia, 2020). Berdasarkan hal tersebut maka perlu dilakukan penelitian tentang kemungkinan penggunaan abu

tempurung kelapa yang berasal dari perkebunan rakyat di daerah Yogyakarta sebagai pengganti sebagian semen.

2. METODOLOGI

Bahan utama dari penelitian ini terdiri dari: semen, pasir, batu pecah (*split*), dan abu tempurung kelapa. Pasir yang digunakan berasal dari kali Progo Yogyakarta. Batu pecah (*split*) yang digunakan dengan besar butir maksimum 20 mm berasal dari Clereng, Kulon Progo, Yogyakarta. Abu tempurung kelapa yang digunakan berasal dari perkebunan rakyat di dusun Sabrang Kidul, Purwosari, Girimulyo, Kulon Progo, Yogyakarta.

Pengujian pendahuluan pasir terdiri dari pengujian: berat jenis, penyerapan, berat isi, kadar air, MHB, dan kadar lumpur. Pengujian pendahuluan batu pecah (*split*) terdiri dari pengujian: berat jenis, penyerapan, berat isi, kadar air, MHB, dan keausan.

Tempurung kelapa yang sudah dibersihkan dari serabutnya dimasukkan ke dalam drum/tong besi bekas dan kemudian dibakar selama 6-7 jam sampai menjadi abu. Setelah dingin abu tempurung kelapa disaring menggunakan saringan nomor 200. Abu tempurung kelapa yang digunakan pada penelitian ini seperti pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Abu Tempurung Kelapa

Substitusi semen dengan abu tempurung kelapa yang digunakan adalah 2,5%, 5,0%, 7,5%, 10%, 12,5%, 15%, 17,5%, 20%, dan 22,5 % terhadap berat semen. Variasi benda uji yang digunakan ditunjukkan pada **Tabel 1**.

Benda uji berupa silinder beton sebanyak 3 buah setiap variasi dan dengan jumlah total 30 buah.

Perancangan campuran beton mengacu pada (SNI 03-2834-2000, 2000), untuk kuat tekan yang disyaratkan ditetapkan 20 MPa pada umur 28 hari didapat perbandingan campuran untuk 1 m³, 214 liter air : 394 kg semen : 661 kg pasir : 1075 kg batu pecah (*split*).

Pengujian yang dilakukan berupa pengujian *slump* untuk beton segar dan pengujian kuat tekan untuk beton keras setelah berumur 28 hari.

Tabel 1. Benda Uji

No.	Substitusi semen (%)	Jumlah Benda uji
1	0	3
2	2,5	3
3	5,0	3
4	7,5	3
5	10	3
6	12,5	3
7	15	3
8	17,5	3
9	20	3
10	22,5	3

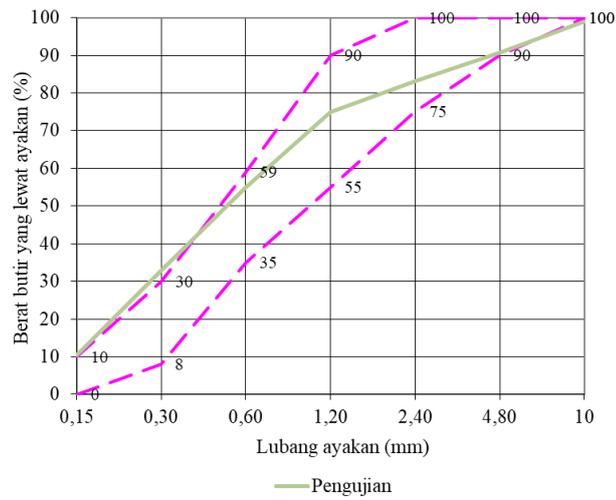
3. HASIL DAN DISKUSI

3.1. Pengujian Bahan Susun Beton

Hasil pengujian pasir yang digunakan pada penelitian ini seperti pada **Tabel 2** dan **Gambar 2**.

Tabel 2. Pengujian Pasir

No.	Jenis Pemeriksaan	Hasil	Satuan
1	Berat jenis (SSD)	2,691	-
2	Penyerapan	2,480	%
3	Berat isi	1,676	gr/cm ³
4	Kadar air	2,156	%
5	MHB	2,536	-
6	Kadar lumpur	2,831	%

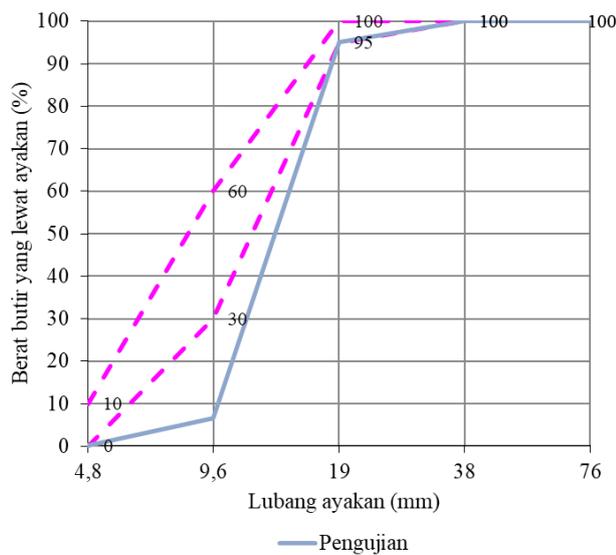


Gambar 2. Gradasi Pasir

Hasil pengujian batu pecah (*split*) yang digunakan pada penelitian ini seperti pada **Tabel 3** dan **Gambar 3**.

Tabel 3. Pengujian Batu Pecah (*split*)

No.	Jenis Pemeriksaan	Hasil	Satuan
1	Berat jenis (SSD)	2,717	-
2	Penyerapan	1,816	%
3	Berat isi	1,681	gr/cm ³
4	Kadar air	1,209	%
5	MHB	6,976	-
6	Keausan	22,44	%



Gambar 3. Gradasi Batu Pecah (*split*)

Hasil analisa abu tempurung kelapa jika dibandingkan dengan semen adalah seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Perbandingan Unsur Kimia Abu Tempurung Kelapa dengan Semen

No.	Oksida	Abu tempurung kelapa (Pengujian)	Semen (Neville dan Brooks, 2010)	Semen (Mindess dkk, 2003)	Satuan
1	Fe ₂ O ₃	2,1045	0,5 - 6	2,58	%
2	CaO	11,7465	60 - 67	64,67	%
3	MgO	4,2583	0,1 - 4	2,62	%
4	SiO ₂	33,7399	17 - 25	21,03	%

Secara umum semen terdiri dari kapur, silika, dan alumina. Dari Tabel 4 dapat dilihat bahwa abu tempurung kelapa mengandung kapur (CaO) sebesar 11,7465%, sedangkan pada semen sekitar 60% - 67% (Neville dan Brooks, 2010) atau 64,67% (Mindess dkk, 2003). Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa kandungan kapur pada abu tempurung kelapa lebih rendah dari semen.

Kandungan silika (SiO₂) abu tempurung kelapa sebesar 33,7399%, sedangkan pada semen sekitar 17% - 25% (Neville dan Brooks, 2010) atau 21,03% (Mindess dkk, 2003). Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa kandungan silika pada abu tempurung kelapa lebih tinggi dari semen. Kandungan silika (SiO₂) yang tinggi memungkinkan abu tempurung kelapa untuk digunakan sebagai pozzolan untuk bahan tambah atau sebagai pengganti sebagian semen.

3.2. Nilai Slump

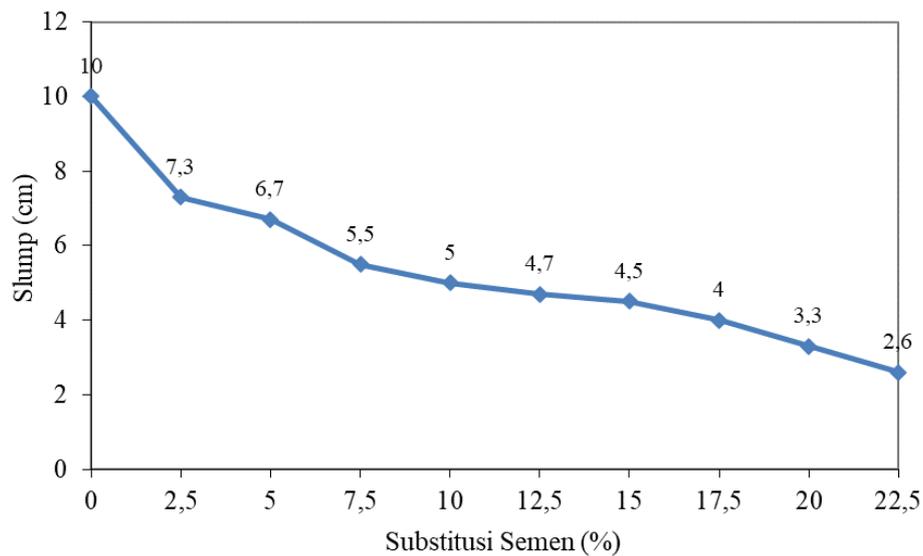
Pengujian *slump* dapat dilihat pada Gambar 4. Nilai *slump* beton segar yang didapat seperti pada Tabel 5 dan Gambar 5.



Gambar 4. Pengujian *Slump*

Tabel 5. Nilai Slump

No.	Substitusi semen (%)	Nilai slump (cm)	Coefficient of variation (COV) (%)
1	0	10,0	
2	2,5	7,3	
3	5,0	6,7	
4	7,5	5,5	
5	10	5,0	40,36
6	12,5	4,7	
7	15	4,5	
8	17,5	4,0	
9	20	3,3	
10	22,5	2,6	



Gambar 5. Nilai Slump

Dari **Tabel 5** dan **Gambar 5**, nilai *slump* campuran beton normal tanpa substitusi semen dengan abu tempurung kelapa sebesar 10 cm. Nilai *slump* campuran dengan substitusi semen dengan abu tempurung kelapa lebih kecil dari nilai *slump* beton normal. Nilai *slump* semakin menurun seiring dengan meningkatnya persentase substitusi semen dengan abu tempurung kelapa. Hal ini diakibatkan penyerapan air dari abu tempurung kelapa tinggi.

3.3. Kuat Tekan Beton

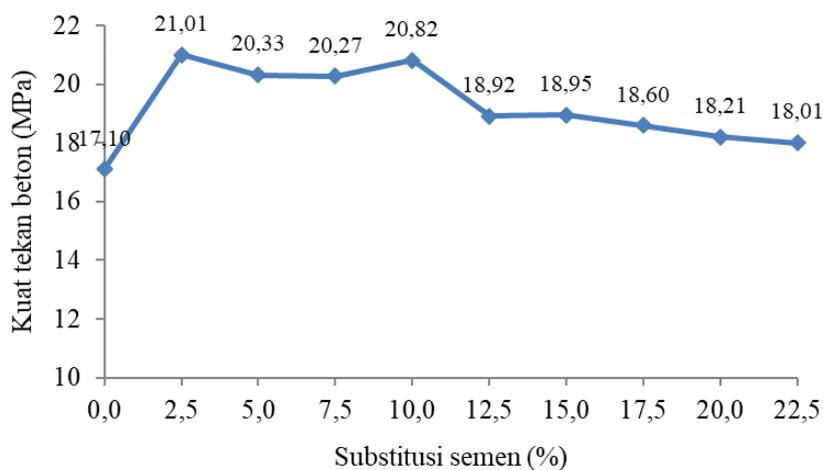
Pengujian kuat tekan beton dapat dilihat pada **Gambar 6**. Kuat tekan beton yang didapat seperti pada **Tabel 6** dan **Gambar 7**.



Gambar 6. Pengujian Kuat Tekan

Tabel 6. Kuat Tekan Beton

No.	Substitusi semen (%)	Kuat tekan beton rata-rata (MPa)	Coefficient of variation (COV) (%)
1	0	17,10	
2	2,5	21,01	
3	5,0	20,33	
4	7,5	20,27	
5	10	20,82	
6	12,5	18,92	6,85
7	15	18,95	
8	17,5	18,60	
9	20	18,21	
10	22,5	18,01	



Gambar 7. Kuat Tekan Beton

Dari **Tabel 6** dan **Gambar 7**, kuat tekan beton normal tanpa substitusi semen dengan abu tempurung kelapa sebesar 17,10 MPa. Kuat tekan beton dengan substitusi semen dengan abu tempurung kelapa lebih tinggi dari beton normal. Hasil ini berbeda dengan penelitian-penelitian sebelumnya yang pada umumnya substitusi semen dengan abu tempurung kelapa mengakibatkan penurunan kuat tekan beton. Pada penelitian sebelumnya yang banyak digunakan adalah arang tempurung kelapa yang dihaluskan sedangkan pada penelitian ini adalah abu dari tempurung kelapa yang dibakar.

Kuat tekan semakin menurun seiring dengan meningkatnya persentase substitusi semen dengan abu tempurung kelapa. Hal ini diakibatkan peningkatan persentase substitusi semen dengan abu tempurung kelapa mengakibatkan penurunan nilai *slump* sehingga campuran sulit dipadatkan.

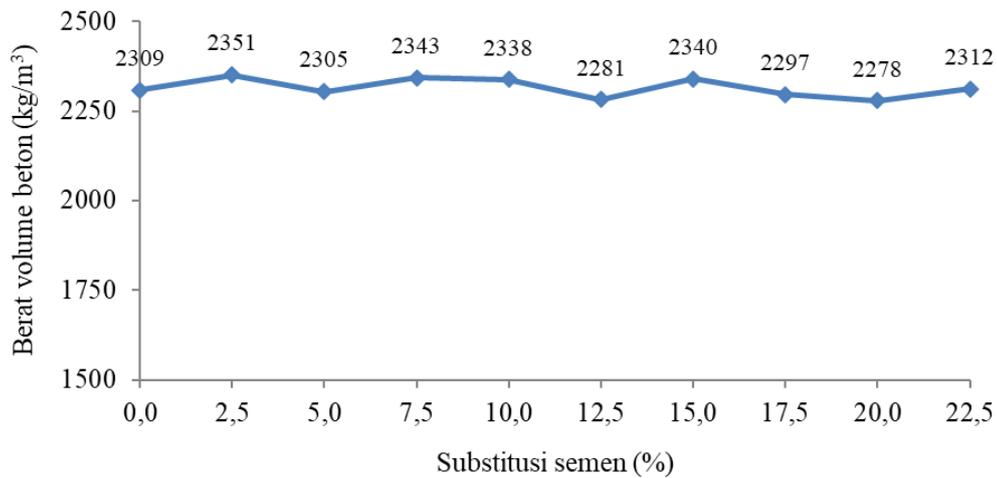
Untuk fondasi telapak tidak bertulang, struktur di bawah tanah, dan pembetonan massal dapat menggunakan substitusi semen dengan abu tempurung kelapa 22,5% karena kuat tekannya masih lebih besar dari beton normal dan nilai *slump* yang dihasilkan 2,6 cm masih memenuhi syarat nilai *slump* minimum 2,5 cm. Untuk plat fondasi, fondasi telapak bertulang, dan perkerasan jalan dapat menggunakan substitusi semen dengan abu tempurung kelapa 10% karena kuat tekannya masih lebih besar dari beton normal dan nilai *slump* yang dihasilkan 5 cm masih memenuhi syarat nilai *slump* minimum 5 cm. Untuk plat, balok, dan kolom dapat menggunakan substitusi semen dengan abu tempurung kelapa 2,5% karena kuat tekannya masih lebih besar dari beton normal dan nilai *slump* yang dihasilkan 7,3 cm masih hampir sama dengan syarat nilai *slump* minimum 7,5 cm.

3.4. Berat Volume Beton

Berat volume beton yang didapat seperti pada **Tabel 7** dan **Gambar 8**.

Tabel 7. Berat Volume Beton

No.	Substitusi semen (%)	Berat volume beton rata-rata (kg/m ³)	Coefficient of variation (COV) (%)
1	0	2309	
2	2,5	2351	
3	5,0	2305	
4	7,5	2343	
5	10	2338	
6	12,5	2281	1,13
7	15	2340	
8	17,5	2297	
9	20	2278	
10	22,5	2312	



Gambar 8. Berat Volume Beton

Dari **Tabel 7** dan **Gambar 8** dapat disimpulkan bahwa substitusi semen dengan abu tempurung kelapa tidak berpengaruh signifikan terhadap berat volume beton.

4. SIMPULAN

Dari hasil penelitian pengaruh penggantian sebagian semen dengan abu tempurung kelapa terhadap kinerja beton ini dapat disimpulkan:

1. Abu tempurung kelapa mempunyai kandungan silika yang tinggi sehingga dapat digunakan sebagai pozzolan.
2. Peningkatan persentase substitusi semen dengan abu tempurung kelapa menurunkan nilai *slump*.
3. Substitusi semen dengan abu tempurung kelapa meningkatkan kuat tekan beton.
4. Peningkatan persentase substitusi semen dengan abu tempurung kelapa menurunkan kuat tekan beton.
5. Substitusi semen dengan abu tempurung kelapa tidak berpengaruh signifikan terhadap berat volume beton.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Adajar, M. A., Galupino, J., Frianeza, C., Aguilon, J. F., Sy, J. B., & Tan, P. A. (2020). Compressive Strength and Durability of Concrete with Coconut Shell Ash as Cement Replacement. *International Journal of GEOMATE*, 18(70), 183–190. <https://doi.org/10.21660/2020.70.9132>
- Adeala, A. J., Olaoye, J. O., & Adeniji, A. A. (2020). Potential of Coconut Shell Ash as Partial Replacement of Ordinary Portland Cement in Concrete Production. *International Journal of Engineering Science Invention*, 9(1), 47–53.

- Aswathy, U., & Padmanaban, I. (2018). Experimental Studies of Coconut Shell Ash Composites in Concrete. *International Journal of Latest Engineering and Management Research*, 03(02(S)), 23–25.
- Ayyappa, R. A., Reddy B, S., Yadav, G. S., & Sudarshan, D. S. (2020). Partial Replacement of Cement and Coarse Aggregate by Egg Shell Powder and Coconut Shells. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 9(4), 1242–1246. <https://doi.org/10.35940/ijitee.D1573.029420>
- Bhartiya, A., & Dubey, M. (2018). Replacement of Cement with Coconut Shell Ash and Egg Shell Powder for Preparation of Fresh Concrete. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 05(06), 1272–1275.
- Bheel, N., Mahro, S. K., & Adesina, A. (2021). Influence of Coconut Shell Ash on Workability, Mechanical Properties, and Embodied Carbon of Concrete. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(5), 5682–5692. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10882-1>
- Bheel, N., Mangib, S. A., & Meghwar, S. L. (2021). Coconut Shell Ash as Cementitious Material in Concrete: A Review. *Jurnal Kejuruteraan, Universiti Kebangsaan Malaysia*, 33(1), 27–38. [https://doi.org/10.17576/jkukm-2020-33\(1\)-03](https://doi.org/10.17576/jkukm-2020-33(1)-03)
- Direktorat Jenderal Perkebunan Kementerian Pertanian Republik Indonesia. (2020). *Statistik Perkebunan Unggulan Nasional 2019-2021*. <https://drive.google.com/file/d/1rlmMNUbPM99DA-Ywo-Prv3cmPnWoFUUp/view?usp=sharing>
- Goutam, R., Meghwal, G., Rawat, Y. K., & Sharma, D. (2021). Effect of Coconut Shell Ash (CSA) as an Admixture on the Properties of Cement Paste and Concrete. *International Journal of Technical Research & Science, Special*, 17–19. <https://doi.org/10.30780/specialissue-SCRDSI-2021/005>
- Hasan, S. I., Manon, A. H., Kuddus, M. A., & Hossain, M. M. (2016). Investigation of Mechanical Behaviour of Concrete by Replacing Cement with Coconut Shell Ash & Stone Dust. *Proceedings of the 3rd International Conference on Civil Engineering for Sustainable Development (ICCESD 2016)*, 828–835.
- Joseph, O. O., Makanju, O. L., & Philip, A. S. (2015). Performance of Coconut Shell Ash and Palm Kernel Shell Ash as Partial Replacement for Cement in Concrete. *Journal of Building Materials and Structures*, 2(1), 18–24. <https://doi.org/10.34118/jbms.v2i1.16>
- Kumar, L., Pandey, K. K., & Khan, S. (2017). Use of Coconut Shell Ash as Aggregates. *International Journal of Research in Engineering and Social Sciences*, 07(2), 15–19.
- Kumar, R. R., Mahendran, R., Nathan, S. G., Sathya, D., & Thamarai Kannan, K. (2017). An Experimental Study on Concrete Using Coconut Shell Ash and Egg Shell Powder. *South Asian Journal of Engineering and Technology*, 3(7), 151–161.
- Langitan, G. M., Sumajow, M. D. J., & Dapas, S. O. (2022). Studi Eksperimental Kuat Tekan Beton dengan Menggunakan Agregat Lokal dan Abu Arang Tempurung Kelapa Sebagai Substitusi Parsial Semen. *Jurnal Sipil Statik*, 10(2), 135–141.
- Mindess, S., Young, J. F., & Darwin, D. (2003). *Concrete* (2nd ed). Prentice Hall, Pearson Education Inc.
- Nagarajan, V. K., Devi, S. A., Manohari, S. P., & Santha, M. M. (2014). Experimental Study on Partial Replacement of Cement with Coconut Shell Ash in Concrete. *International Journal of Science and Research*, 3(3), 651–661.
- Neville, A. M., & Brooks, J. J. (2010). *Concrete Technology* (2nd ed). Prentice Hall, Pearson Education Ltd.
- Premaraj M, T., & Kumar M G, R. (2019). Structural Performance on Partial Replacement of Cement by Coconut Shell Ash. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 6(5), 6046–6052.
- Raghuwanshi, H., & Saini, M. (2020). A Study on Effect on Strength and Durability with Coconut Shell Ash and Egg Shell Ash in M40 Grade Concrete. *International Journal of New Technology and Research*, 6(12), 48–51.

- Rao, K. V., Swaroop, A. H. L., Rao, P. K. R., & Bharath, C. N. (2015). Study on Strength Properties of Coconut Shell Concrete. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 6(3), 42–61.
- SNI 03-2834-2000. (2000). *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*.
- Utsev, J. T., & Taku, J. K. (2012). Coconut Shell Ash As Partial Replacement of Ordinary Portland Cement In Concrete Production. *International Journal of Scientific & Technology Research*, 1(8), 86–89.