



ANALISIS PENGARUH ABU TEMPURUNG KELAPA SEBAGAI SEMEN PADA BETON GEOPOLIMER BERBASIS *FLY ASH*

Nur Azizah Putri Dewi Laia¹, Ahmad Yudi², Kirtinanda P³, Ayu Sinta Aprilia⁴
Teknik Sipil, Teknologi Infrastruktur Dan Kewilayahan, Institut Teknologi Sumatera
Email: nurazizahpdl28@gmail.com, ahmad.yudi@si.itera.ac.id

Abstrak

Beton adalah material komposit yang mencampurkan bahan dasar semen, agregat, dan air dengan perbandingan tertentu. Pada pembuatan beton, semen adalah bahan yang sangat penting sebagai pengikat. Produksi yang terus meningkat menyebabkan pengerukan batu kapur serta emisi gas CO₂ meningkat juga. Beton geopolimer adalah salah satu inovasi untuk mengurangi penggunaan semen. Pengikat yang digunakan pada beton geopolimer adalah bahan pozzolan seperti limbah batu bara (*fly ash*) yang mengandung unsur silika dan alumina. Selain itu, bahan limbah lainnya yang mengandung unsur silika dapat menjadi alternatif pengganti semen, salah satunya tempurung kelapa. Tempurung kelapa dibakar selama kemudian dimasukkan kedalam *furnace* selama 4 jam dengan suhu 700°C. Penelitian dilakukan untuk mengetahui pengaruh abu tempurung kelapa terhadap beton geopolimer berbasis *fly ash*. Variasi yang digunakan 0%, 2%, 4%, dan 6% serta rasio alkali aktivator NaOH:Na₂SiO₃ sebesar 1:2,5. Sampel yang digunakan sebanyak 12 buah, dengan uji kuat tekan pada umur 7 hari. Proses *curing* dengan pengovenan sampel selama 24 jam pada suhu 90°C. Dari hasil pengujian, nilai *slump* 0 mm untuk semua variasi, hasil uji vicat menunjukkan bahwa penggunaan *fly ash* mempercepat waktu ikat semen, berat volume optimum pada variasi 6% sebesar 2122,51 kg/m³, kuat tekan optimum pada variasi 0% sebesar 18,37 MPa, dan adanya perbedaan yang signifikan dari setiap variasi abu tempurung kelapa.

Kata kunci : Geopolimer, Abu Terbang, Abu Tempurung Kelapa

Abstract

Concrete is a composite material that consists of cement, aggregates, and water mixed in specific proportions. Cement serves as the primary binding agent in concrete production. The rising demand for concrete has led to increased limestone extraction and a concerning rise in CO₂ emissions. In response, geopolimer concrete has emerged as a significant innovation aimed at reducing dependence on traditional cement. This type of concrete utilizes pozzolanic materials, such as coal waste (*fly ash*), which are rich in silica and alumina. Additionally, alternative waste materials containing silica, such as coconut shells, can effectively replace cement. Coconut shells

Article History

Received: Januari 2025
Reviewed: Januari 2025
Published: Januari 2025

Plagirism Checker No 234
Prefix DOI : Prefix DOI :
10.8734/Kohesi.v1i2.365

Copyright : Author

Publish by : Kohesi



This work is licensed
under a [Creative
Commons Attribution-
NonCommercial 4.0
International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



are subjected to combustion and heated in a furnace at 700°C for 4 hours. Research has been conducted to assess the effect of coconut shell ash on fly ash-based geopolymer concrete. The variations tested included 0%, 2%, 4%, and 6%, with an alkali activator ratio of NaOH to Na₂SiO₃ set at 1:2.5. A total of twelve samples were evaluated, with compressive strength testing carried out after 7 days. The curing process involved heating the samples in an oven for 24 hours at 90°C. The test results were enlightening: the slump value was recorded at 0 mm for all variations, and the vicat test indicated that the incorporation of fly ash significantly accelerates the cement setting time. The optimal bulk density achieved was 2122.51 kg/m³ at the 6% variation, while the maximum compressive strength registered was 18.37 MPa for the 0% variation. Additionally, the study revealed significant differences among all variations of coconut shell ash, highlighting the effectiveness of this innovative approach.

Keywords : Geopolymer, Fly Ash, Coconut Shell Ash

1. PENDAHULUAN

Beton adalah material komposit yang terdiri dari campuran semen, agregat, dan air, namun produksi semen yang menghasilkan emisi CO₂ turut berkontribusi pada pemanasan global. Beton geopolimer muncul sebagai alternatif yang menggunakan fly ash, limbah dari industri termal yang kaya akan Silika (Si) dan Alumina (Al), sebagai bahan pengikat [1]. Di sisi lain, limbah tempurung kelapa, yang kaya akan karbon dan silika, juga memiliki potensi sebagai bahan tambahan dalam beton karena kandungan pozzolannya yang tinggi. Penggunaan limbah ini dapat membantu mengurangi dampak lingkungan dan mendukung pembangunan berkelanjutan.

Penelitian beton dengan menggantikan sebagian semen dengan abu tempurung kelapa yang mengandung 33,73% silika, sebagai bahan pozzolan. Variasi substitusi semen yang diuji adalah 2,5% hingga 22,5%, dengan total 30 sampel. Pengujian meliputi uji slump pada beton segar dan uji kuat tekan setelah 28 hari. Hasilnya menunjukkan bahwa substitusi 2,5% abu tempurung kelapa menghasilkan kuat tekan tertinggi sebesar 21,01 MPa[2].

Penelitian beton dengan menguji substitusi semen dengan abu tempurung kelapa pada variasi 2,5%, 5%, dan 7,5%. Setelah pengujian beton berumur 28 hari, kuat tekan tertinggi sebesar 22,73 MPa tercapai pada substitusi 2,5%, namun menurun menjadi 19,82 MPa pada 5% dan 19,47 MPa pada 7,5%. Penurunan ini disebabkan oleh pembentukan kalsium hidroksida yang mengurangi daya rekat semen[3].

Selain itu, menguji substitusi semen dengan abu tempurung kelapa pada variasi 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10%. Hasilnya menunjukkan peningkatan nilai slump hingga 11 cm pada variasi 10%, seiring dengan peningkatan abu tempurung kelapa. Namun, kuat tekan beton menurun hingga substitusi 5% dan kemudian meningkat kembali pada persentase lebih tinggi[4].



Penelitian Uji tekan dengan menggunakan abu tempurung kelapa yang dikalsinasi melalui pembakaran tak terkontrol selama 4 jam dan dioven selama 24 jam, sebagai pengganti semen dengan variasi 0%, 10%, 20%, 30%, dan 40% dari berat semen. Hasilnya menunjukkan bahwa semakin tinggi persentase substitusi abu tempurung kelapa, semakin rendah kuat tekan beton. Beton dengan substitusi 10% memiliki kuat tekan sebesar 92,10% dari beton normal. Substitusi 10% dianggap optimal karena memberikan durabilitas dan kekuatan yang dapat diterima, sekaligus mengurangi biaya produksi beton[5].

Penelitian menggunakan tempurung kelapa yang dijemur selama 48 jam dan dikalsinasi dalam tungku listrik pada suhu 800° hingga 1000°C selama 3 jam. Campuran beton memiliki rasio 1:2:4 dengan faktor air-semen 0,5. Sebanyak 60 sampel beton berbentuk kubus diuji pada umur 7, 14, 21, dan 28 hari. Abu tempurung kelapa digunakan sebagai substitusi semen dengan variasi 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% dari berat semen. Hasil menunjukkan bahwa substitusi abu tempurung kelapa menurunkan nilai slump, dengan tingkat penyerapan air terendah sebesar 0,66% pada substitusi 10%. Namun, penggunaan abu tempurung kelapa sebagai pengganti semen menurunkan kuat tekan beton[6].

Penelitian dengan memanfaatkan lumpur Sidoarjo dan fly ash sebagai bahan pasta buatan dengan menggunakan NaOH dan Na₂SiO₃ sebagai alkali aktivator, dengan molaritas NaOH sebesar 12 M. Perbandingan lumpur Sidoarjo dan fly ash adalah 20%:80%. Pengujian dilakukan pada benda uji berdiameter 5 cm dan tinggi 10 cm, dengan pengujian kuat tekan pada umur 7, 21, dan 28 hari. Hasilnya menunjukkan kuat tekan sebesar 33,00 MPa pada 28 hari dan keausan 25,08%. Berdasarkan standar ASTM C 131-03 yang menetapkan batas maksimum keausan 50%, material ini layak digunakan[7].

Penelitian beton geopolimer dengan alkali aktivator NaOH dan Na₂SiO₃ dalam rasio 1:2. Pengujian dilakukan pada umur 14 dan 28 hari menggunakan enam sampel silinder berukuran 10 cm x 20 cm. Hasil menunjukkan bahwa kuat tekan beton geopolimer pada umur 14 hari adalah 19,45 MPa, dan meningkat menjadi 22,99 MPa pada umur 28 hari, dengan kenaikan rata-rata sebesar 3,54 MPa atau 18,2%. Pemeriksaan berat volume beton geopolimer tidak menunjukkan perbedaan signifikan antara umur 14 dan 28 hari[8].

Terakhir, penelitian mengkaji beton geopolimer menggunakan fly ash tipe F dengan NaOH bermolaritas 10M, 12M, dan 14M, serta rasio alkali aktivator NaOH sebesar 1:2,5; 1:3; dan 1:3,5. Rasio fly ash dan alkali aktivator adalah 74%:26%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat tekan beton meningkat seiring dengan peningkatan molaritas NaOH, namun semakin tinggi rasio NaOH menyebabkan penurunan kuat tekan dan workability beton[9].

2. Kajian Pustaka

2.1. Beton

Beton merupakan material infrastruktur sangat umum digunakan karena memiliki kemampuan menahan beban tekan yang tinggi. Beton memiliki kekuatan yang besar, sehingga sangat cocok digunakan pada berbagai jenis infrastuktur seperti bangunan, jalan, jembatan, dan lainnya. Menurut SNI, beton adalah campuran kerikil, pasir, semen, dan air dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk massa padat.



Bedasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga tahun 2018, beton dibedakan menjadi tiga kelas, yakni[10]:

1. Mutu Rendah

Kuat tekan dengan mutu rendah mampu didapatkan dengan nilai kurang dari 20 MPa. Mutu 15-20 MPa biasanya digunakan sebagai struktur beton tanpa tulangan. Mutu <15 MPa sering dipakai untuk lantai kerja beton yang digunakan sebagai pengurukan kembali.

2. Mutu Sedang

Beton ini berkisar 20-45 MPa, proses pembuatannya lebih mudah masuk ke dalam cetakan. Pembentukan beton ini harus sesuai syarat yang sudah ditentukan, tanpa terjadi segregasi.

3. Mutu Tinggi

Beton ini memiliki mutu lebih dari 45 MPa yang biasanya digunakan untuk beton pratekan. Pembuatan beton ini membutuhkan ketelitian yang tinggi dibandingkan dengan pembuatan beton lainnya.

2.2. Beton Geopolimer

Beton geopolimer merupakan beton dapat memanfaatkan bahan pozzolan sebagai pengikat agregat. Menurut Davidovid [1], beton geopolimer terbentuk melalui reaksi kimia, berbeda dengan beton konvensional yang terbentuk dari reaksi hidrasi. Proses pembuatan beton ini membutuhkan beberapa bahan dan langkah penting yang berbeda dari beton konvensional, biasanya beton ini memanfaatkan reaksi kimia dengan penggunaan alkali aktivator, karena *fly ash* bersifat *non-cementitious*. Alkali aktivator berupa natrium hidroksida dan sodium silikat. Natrium hidroksida berfungsi melarutkan unsur kimia yang ada pada *fly ash* dan sodium silikat untuk mempercepat proses geopolimerisasi [11]. Peningkatan molaritas aktivator akan meningkatkan kuat tekan geopolimer.

Seperti pembuatan beton normal, *fly ash* pada beton geopolimer yang dicampur dengan alkali aktivator membutuhkan waktu untuk bereaksi sebelum mengeras. Pada waktu ikat semen, faktor-faktor seperti banyak air maupun jenis semen yang digunakan mempengaruhi hasilnya. Hal yang sama berlaku untuk *fly ash*, di mana setting time dipengaruhi oleh jenis *fly ash*, rasio antara *fly ash* dan alkali aktivator, serta tingkat molaritas alkali aktivator yang digunakan. Menurut Hardjito & Rangan [12], aktivator yang sering digunakan ialah natrium hidroksida dengan konsentrasi antara 6M hingga 14M, serta sodium silikat dengan rasio antara 0,5 hingga 2,5.

2.3. Abu Terbang (Fly Ash)

Fly ash adalah limbah hasil pembakaran pada PLTU yang memiliki bentuk halus, ringan, dan bundar [13]. Lingkungan konstruksi akan jauh lebih ramah lingkungan saat menggunakan alternatif abu terbang daripada semen *portland*.

Ada dua kategori *Fly Ash*, yaitu:

1. *Low Calcium Fly Ash*

Fly ash dengan kalsium rendah hanya mempunyai sifat pozzolan, sehingga hanya mampu mengurangi kebutuhan semen *portland* 20 hingga 30%. Nilai CaO yang terkandung kurang dari 10%.



2. High Calcium Fly Ash

Fly Ash dengan kalsium tinggi memiliki sifat sebagai *pozzolan* serta bahan bersifat semen (*cementitious*). Dengan kandungan CaO lebih dari 10%, abu terbang ini dapat mengurangi kebutuhan semen portland hingga 40%.

Selain itu, *fly ash* dibedakan menjadi 3 jenis kelas yaitu:

1. Kelas N

Abu terbang kelas ini hasil *pozzolan* alam mentah yang telah dikalsinasi untuk menghasilkan sifat-sifat yang diinginkan dan memenuhi syarat berlaku untuk kelas N. Contoh tanah hasil pelapukan seperti pada lempung

2. Kelas F

Kelas ini hasil dari antrasit atau batu bara yang telah dikalsinasi, umumnya memiliki $\text{CaO} < 10\%$. Abu terbang kelas F bersifat *pozzolanik*.

3. Kelas C

Abu terbang ini bersifat *pozzolamik*, dihasilkan dari batubara subbituminous atau pembakaran lignite, serta memiliki $\text{CaO} > 10\%$.

Persyaratan kimia pada setiap jenis *fly ash*:

Tabel 1. Persyaratan Kimia *Fly Ash*

Uraian	Kelas		
	N	F	C
$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$, min %	70	70	50
SO_3 , maks %	4	5	5
Kadar air, maks %	3	3	3
Hilang pijar, maks %	10	6	6

2.4. Abu Tempurung Kelapa

Abu batok kelapa atau sering disebut *Coconut Shell Ash (CSA)* merupakan abu atau *fly ash* hasil pembakaran dari tempurung kelapa. Tempurung kelapa pembuangannya dapat menimbulkan masalah lingkungan. Tempurung sangat cocok untuk diproses menjadi karbon hitam karena strukturnya yang sangat baik dan kandungan abu yang rendah. Menurut [14], komposisi kimia pada abu tempurung kelapa terdiri dari alumina dan silika. Hal ini menunjukkan bahwa abu tempurung kelapa memiliki sifat *pozzolan*, mirip dengan abu sekam padi dan bahan *pozzolan* lainnya.

2.5. Alkali Aktivator

Alkali aktivator memiliki peran penting dalam reaksi pengikatan dalam material berbasis silika dan alumina seperti geopolimer yang menggunakan *fly ash* ataupun material *pozzolan* lainnya untuk pengganti semen. Alkali aktivator yang digunakan yaitu sebagai berikut:

1. Natrium Hidroksida (NaOH)

Natrium hidroksida adalah zat yang membentuk ikatan atau pengeras geopolimer. Semakin tinggi molaritasnya NaOH maka kuat tekan yang didapatkan semakin besar, tetapi memiliki sifat yang lebih getas.

2. Natrium Silikat (Na_2SiO_3)

Natrium silikat (*water glass*) merupakan zat kimia berperan penting saat proses mempercepat polimerisasi. Selain itu, aktivator ini untuk membantu pembentukan pasta, namun kuat material menjadi turun disebabkan sebelum digunakan zat ini dicampur oleh larutan natrium hidroksida.

3. METODE

Bahan yang digunakan pada penelitian ini tersusun dari fly ash, alkali aktivator, agregat kasar, agregat halus, dan abu tempurung kelapa. Fly ash bersumber dari PT. Bukit Asam Unit Pelabuhan Tarahan, Agregat kasar dan halus berasal dari Gunung Sugih, Lampung Tengah. Tempurung Kelapa bersumber dari produksi rumahan di Kecamatan Way Halim, Kota Bandar Lampung.

Pengujian material penyusun beton terdiri dari pengujian agregat halus: kadar air, kadar lumpur, zat organik, berat volume, dan gradasi agregat; pengujian agregat kasar: berat jenis, berat volume, kadar air, dan gradasi agregat; pengujian fly ash: berat jenis dan XRF (X-Ray Fluorescence); dan pengujian XRF pada abu tempurung kelapa:

Proses pembuatan abu tempurung kelapa yang dengan membersihkan tempurung kelapa, kemudian dijemur selama dua hingga tiga jam. Kemudian bakar dalam drum selama 9 jam. Arang yang dihasilkan dimasukkan kedalam *muffle furnace* selama 4 jam dengan suhu 700°C . Dinginkan arang tempurung kelapa, setelah itu dihaluskan dan saring. Abu tempurung kelapa yang digunakan lolos ayakan saringan no. 200. Abu tempurung kelapa yang digunakan seperti pada gambar dibawah ini.



Gambar 1. Abu Tempurung Kelapa

4. HASIL PENELITIAN

4.1. Pengujian Bahan Campuran Beton

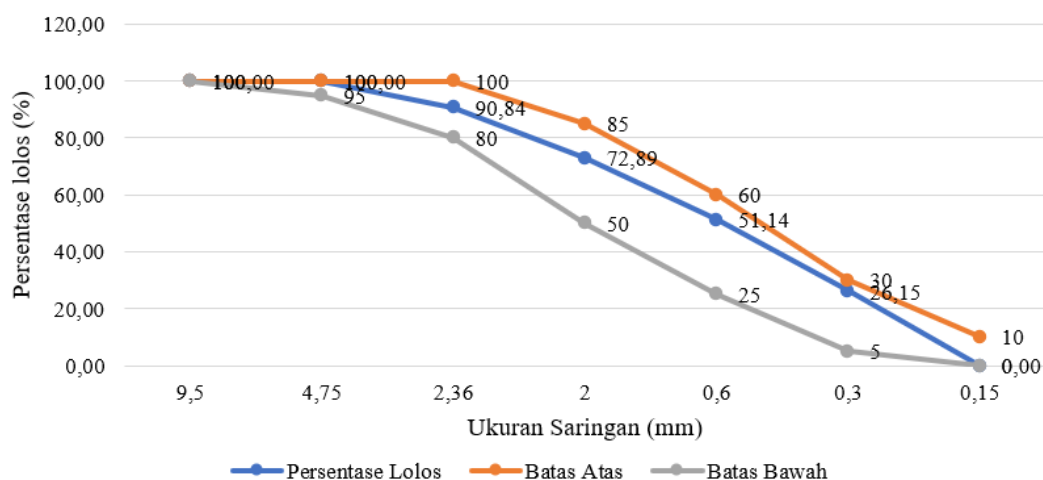
Pengujian Agregat Halus

Hasil pengujian agregat halus dapat dilihat pada tabel x dan gambar x di bawah ini



Tabel 2. Hasil Pengujian Agregat Halus

No.	Jenis Pemeriksaan	Hasil
1.	Kadar Lumpur	2,95%
2.	Kadar Air	1,21%
3.	Berat Volume	1428,80 kg/m ³
4.	Zat Organik	Skala nomor 2
5.	Berat Jenis	2,525



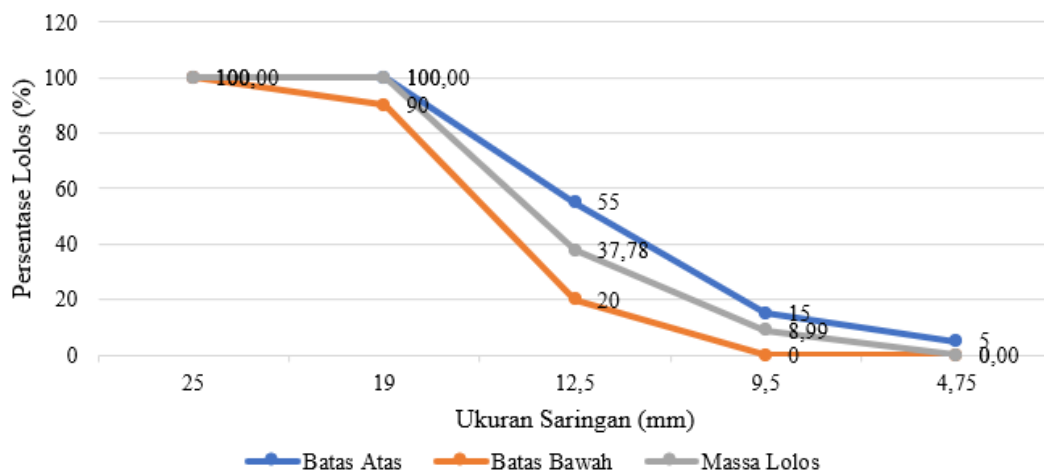
Gambar 2. Gradasi Agregat Halus

Pengujian Agregat Kasar

Hasil pengujian agregat kasar dapat dilihat pada tabel x dan gambar x di bawah ini

Tabel 3. Hasil Pengujian Agregat Kasar

No.	Jenis Pemeriksaan	Hasil
1.	Keausan	19,06%
2.	Kadar Air	1,42%
3.	Berat Volume	1465,3 kg/m ³
4.	Berat Jenis	2,617



Gambar 3. Gradasi Agregat Kasar



Pengujian *Fly Ash*

Pengujian yang dilakukan pada *fly ash* ada dua yakni berat jenis dan XRF. Berat jenis yang didapat sebesar 2,34 t/m³. Pengujian XRF didapat bahwa nilai CaO pada *fly ash* sebesar 9,858%, SO₃ sebesar 3,769%, dan jumlah dari senyawa SiO₂, Al₂O₃, dan Fe₂O₃ sebesar 80,401%. Berdasarkan unsur kimia tersebut, *fly ash* yang digunakan termasuk *fly ash* kelas F, penentuan ini mengacu pada [13]. Berikut tabel hasil XRF pada *fly ash*.

Tabel 4. Hasil XRF *Fly Ash*

<i>Compound</i>	<i>Come</i>	<i>Unit</i>
MgO	1,704	%
Al ₂ O ₃	21,276	%
SiO ₂	45,226	%
SO ₃	3,769	%
K ₂ O	1,211	%
CaO	9,858	%
Fe ₂ O ₃	13,902	%

Pengujian Abu Tempurung Kelapa

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, kadungan alumina dan silika lebih rendah dari *fly ash* dan berat jenis abu tempurung kelapa sebesar 1,55 t/m³. Berikut hasil pengujian abu tempurung kelapa berdasarkan tabel di bawah ini.

Tabel 5. Hasil XRF Abu Tempurung Kelapa

<i>Compound</i>	<i>Come</i>	<i>Unit</i>
MgO	2,94	%
Al ₂ O ₃	3,298	%
SiO ₂	8,426	%
CaO	9,698	%
Fe ₂ O ₃	20,566	%

4.2. Perencanaan Campuran Beton

Perencanaan campuran beton berdasarkan SNI 7656-2012. Namun, semen diganti dengan *fly ash* 100%, dan air diganti dengan alkali aktivator. Berikut Hasil komposisi beton geopolimer.

Tabel 6. Komposisi Beton Geopolimer

Keterangan	Nilai (kg/m ³)
<i>Fly Ash</i>	456
NaOH	70,79
Na ₂ SiO ₃	176,98
Agregat Halus	1015,02
Agregat Kasar	1143,17
<i>Superplasticizer</i>	9,12



Setelah itu, rasio molar karena *fly ash* mengalami polimerisasi dengan alkali aktifator yang digunakan. Berikut tabel perbandingannya.

Tabel 7. Rasio Molar Unsur Kimia Pada Campiran Beton

Total Mol				Molar Ratio		
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	H ₂ O	Na ₂ O/SiO ₂	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	H ₂ O/Na ₂ O
4520,56	951,54	1096,56	12327,20	0,24	4,75	11,24

Tabel 8. *Water/Solid Ratio* Geopolimer

Sodium Hidroksida		Sodium Silikat		Fly Ash	Added Water	Total		w/s
Solid	Water	Solid	Water			Water	Solid	
35,98	53,01	98,11	124,37	456,00	44,30	221,68	590,09	0,376

4.3. Hasil Pengujian Beton

Hasil Uji *Slump*

Pengujian *slump* dilakukan untuk mengetahui tingkat *workability* dari campuran beton. Jika nilai *slump* yang diperoleh rendah, campuran beton menjadi lebih kaku dan sulit dicetak, sebaliknya jika nilai *slump* tinggi, campuran beton menjadi lebih cair dan mudah dicetak.

Tabel 9. Hasil Pengujian *Slump*

Kode	Nilai <i>Slump</i> (mm)
N1	0
GCSA 2%	0
GCSA 4%	0
GCSA 6%	0

Nilai *slump* yang diperoleh rata-rata 0 mm, karena setiap variasi campuran menghasilkan nilai *slump* sebesar 0 mm. Ini menunjukkan bahwa beton geopolimer memiliki *workability* yang sangat rendah, sehingga campuran betonnya sulit dicetak, terbukti dari proses pemadatan campuran beton dalam penelitian ini, yang memerlukan penggetaran dengan palu karet selama waktu yang cukup lama untuk mencapai pemadatan yang merata. Berdasarkan nilai *slump* yang diperoleh, dapat disimpulkan bahwa penggunaan *fly ash* dan abu tempurung kelapa sebagai semen dalam beton geopolimer berpengaruh terhadap nilai *slump* karena penggunaan alkali aktivator dengan molaritas yang tinggi menyebabkan pengikatan awal dari pasta geopolimer lebih cepat. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh[15].

Hasil Uji Vicat

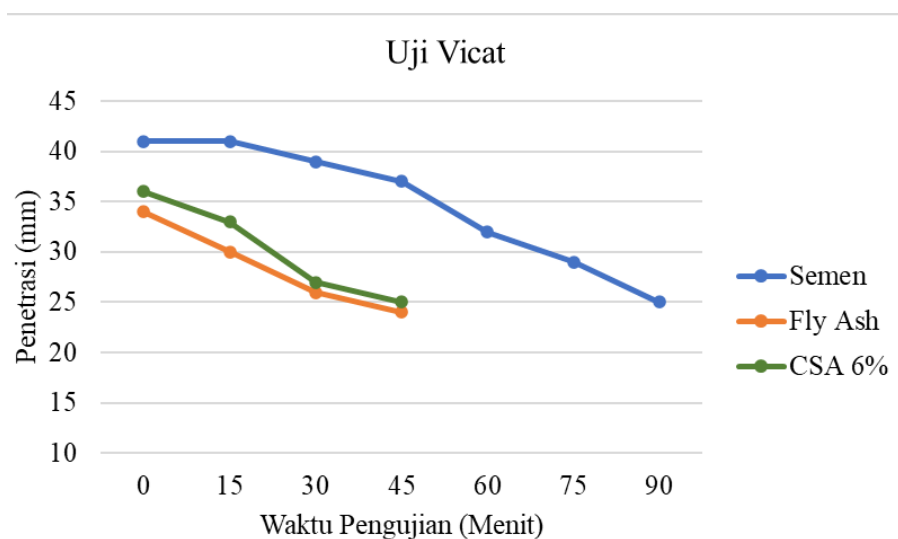
Berdasarkan hasil uji vicat yang telah dilakukan, diketahui bahwa penetrasi penggunaan *fly ash* lebih cepat dibanding semen. Hal ini dipengaruhi oleh reaksi



polimerisasi pada binder geopolimer, dimana larutan NaOH yang digunakan sebesar 14 M menyebabkan jumlah air dalam campuran pasta semakin sedikit. Larutan NaOH dengan molaritas tinggi lebih pekat dibandingkan larutan NaOH molaritas rendah [15]. Waktu pengikatan CSA 6% sedikit lebih lama dibanding penggunaan 100% *fly ash*, dikarenakan kandungan Al dan Si pada abu tempurung kelapa sedikit. Namun, waktu pengikatan 100% *fly ash* dengan substitusi abu tempurung kelapa sebesar 6% tidak berbeda signifikan.

Tabel 10. Hasil Uji Vicat

Waktu Pengujian (menit)	Semen	Fly Ash	CSA 6%
0	41	34	36
15	41	30	33
30	39	26	27
45	37	24	25
60	32		
75	29		
90	25		



Gambar 1. Grafik Uji Vicat

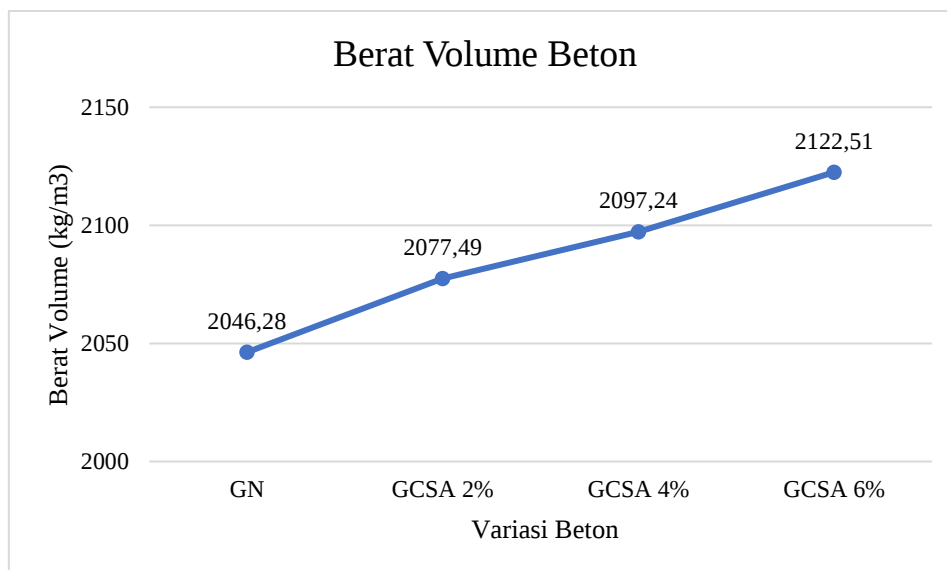
Hasil Pengujian Berat Volume

Berdasarkan hasil uji berat volume yang telah dilakukan, abu tempurung kelapa mempengaruhi berat volume beton, semakin banyak penambahan persentase abu tempurung kelapa maka berat isi beton semakin berat. Hal ini dipengaruhi oleh bahan material yang digunakan terutama *fly ash* dengan berat jenis 2,34 t/m³ yang lebih rendah dibandingkan dengan berat jenis semen sebesar 3,15 t/m³ dan berat jenis abu tempurung kelapa paling kecil sebesar 1,55 t/m³. Pada penelitian ini, berat beton rata-rata yang dihasilkan setiap variasi sebesar 2046,28 kg/m³; 2077,79 kg/m³; 2097,24 kg/m³; dan 2122,51 kg/m³. berada diantara 2000 kg/m³ - 2100 kg/m³ tergolong beton normal. Berikut tabel hasil pengujian betar volume:



Tabel 11. Hasil Pengujian Berat Volume

Kode	Sampel	Berat (kg)	Volume (m ³)	Berat Volume (kg/m ³)	Berat Volume Rata-Rata (kg/m ³)
N1	1	3,236	0,00157	2061,15	2046,28
	2	3,221		2051,59	
	3	3,181		2026,11	
GCSA 2%	1	3,258		2075,16	2077,49
	2	3,192		2033,12	
	3	3,335		2124,20	
GCSA 4%	1	3,318		2113,38	2097,24
	2	3,283		2091,08	
	3	3,277		2087,26	
GCSA 6%	1	3,31		2108,28	2122,51
	2	3,317		2112,74	
	3	3,37		2146,50	



Gambar 2. Grafik Hubungan Variasi Abu Tempurung Kelapa dan Berat Volume Hasil Pengujian Kuat Tekan

Berikut merupakan hasil pengujian kuat tekan beton geopolimer berbentuk silinder diameter 10 cm dan tinggi 20 cm saat umur beton 7 hari.

Tabel 12. Hasil Pengujian Kuat Tekan

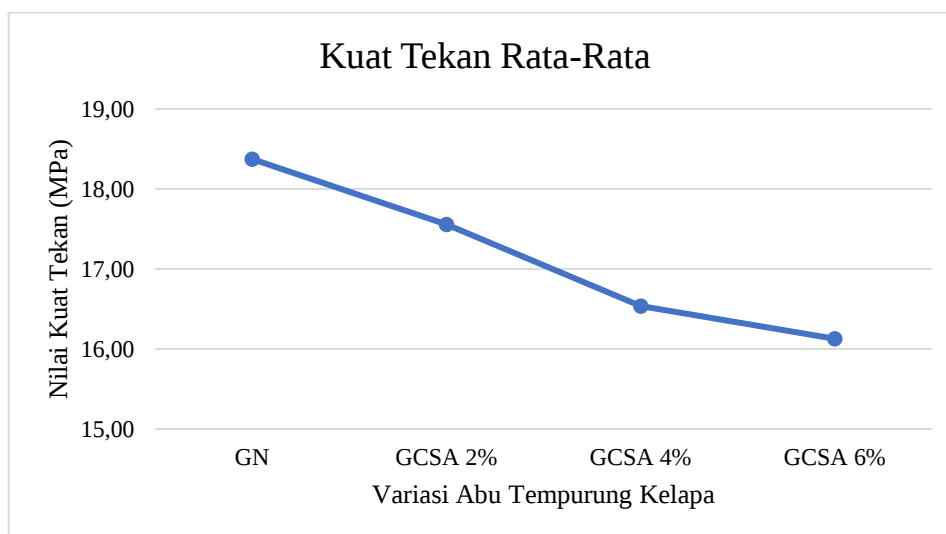
Kode	Sampel	P (kN)	A (mm ²)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rata-Rata (MPa)
GN	1	150	7850,00	18,37	18,37
	2	145		17,76	
	3	155		18,99	
	1	145		17,76	17,56



GCSA 2%	2	140		17,15	
	3	145		17,76	
GCSA 4%	1	135		16,54	16,54
	2	140		17,15	
	3	130		15,92	
GCSA 6%	1	125		15,31	16,13
	2	135		16,54	
	3	135		16,54	

Dari data yang dihasilkan, kuat rata-rata yang didapat setiap variasi 0%, 2%, 4%, dan 6% berturut-turut sebesar 18,37 Mpa; 17,56 MPa; 16,54 MPa, dan 16,13 Mpa. Kuat tekan tertinggi pada variasi 0%, penambahan abu tempurung kelapa pada setaip variasi lainnya menyebabkan nilai kuat tekan semakin menurun. Hal ini disebabkan kandungan CaO (9,858%) yang tinggi mendekati 10% seperti *fly ash* kelas C. *Fly ash* kelas F sebaiknya dengan nilai karbon sangat rendah untuk dijadikan basis geopolimer [16]. Selain itu, penggunaan *fly ash* yang tidak diuji reaktivitas silika, sehingga *fly ash* yang digunakan tidak terpolimerisasi sempurna.

Penggunaan abu tempurung kelapa yang semakin tinggi menyebabkan kuat tekan semakin rendah. Hal ini disebabkan senyawa silika dan alumina sangat rendah dibandingkan dengan *fly ash*. Nilai CaO pada abu tempurung kelapa tidak berbeda signifikan terhadap *fly ash*. Jika dibandingkan terhadap semen, Al₂O₃ dan SiO₂ pada abu tempurung kelapa lebih besar. Kandungan CaO pada abu memiliki perbedaan yang cukup signifikan dan senyawa K₂O paling tinggi sebesar 46,631%. Kalsium dan kalium yang berbeda jauh dari kandungan yang terdapat pada semen menyebabkan kuat tekan yang dihasilkan menurun. Tetapi, beton geopolimer yang dihasilkan dapat dijadikan sebagai alternatif pada pekerjaan non struktural. Berikut grafik hubungan antara variasi persentase abu tempurung kelapa dan hasil kuat tekan beton:



Gambar 6. Grafik Hubungan Variasi Abu Tempurung Kelapa dan Kuat Tekan



5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Adapun kesimpulan pada hasil penelitian sebagai berikut

1. Hasil pengujian kuat tekan beton umur 7 hari dengan variasi abu tempurung kelapa 0%, 2%, 4%, dan 6% secara berturut-turut adalah 18,37 MPa; 17,56 MPa; 16,54 MPa, dan 16,13 MPa. Hasil kuat tekan dengan nilai tertinggi yaitu sebesar 18,37 MPa pada variasi 0% pada keadaan beton tanpa substitusi abu tempurung kelapa sebagai semen. Penurunan kuat tekan pada substitusi abu tempurung kelapa disebabkan oleh senyawa kalsium yang sangat rendah serta senyawa kalium yang didapat berbeda signifikan terhadap kandungan kalium pada semen.
2. Hasil pengujian berat volume didapatkan dengan variasi abu tempurung kelapa 0%, 2%, 4%, dan 6% secara berturut-turut adalah 2046,28 kg/m³; 2077,49 kg/m³; 2097,24 kg/m³; dan 2122,51 kg/m³. Berat yang didapatkan memiliki berat yang lebih kecil dibanding berat beton normal.
3. Hasil pengujian *slump* yang didapatkan pada semua variasi sebesar 0 mm. Hal tersebut menyebabkan beton geopolimer tidak *workability* sehingga campuran tidak mudah untuk dicetak.
4. Hasil Uji Vicat menunjukkan bahwa penggunaan *fly ash* mempercepat pengikatan ikat semen. Hal ini disebabkan oleh penggunaan alkali aktivator dengan molaritas tinggi sehingga air yang dibutuhkan semakin sedikit.

5.2. Saran

Adapun saran untuk penelitian ini sebagai berikut:

1. Perlu adanya penelitian yang berkelanjutan untuk komposisi yang paling efektif dan efisien dari beton geopolimer dikarenakan belum adanya acuan atau standar yang ditetapkan pada beton geopolimer.
2. Penggunaan *fly ash* sebaiknya tidak 100% sebagai pengganti semen. Pengujian reaktivitas pada *fly ash* untuk mengetahui kadar silika yang reaktif dan non-reaktif, karena *fly ash* pada setiap PLTU berbeda sehingga kelas abu terbang yang didapat juga berbeda.
3. Penggunaan abu tempurung kelapa dapat dikembangkan dengan meningkatkan senyawa kalsium oksida serta menurunkan senyawa kalium oksida pada abu yang dihasilkan.

6. DAFTAR REFRESNSI

- [1] J. Davidovits, "Geopolymers - Inorganic polymeric new materials," *J. Therm. Anal.*, vol. 37, no. 8, pp. 1633–1656, 1991, doi: 10.1007/BF01912193.
- [2] B. Santosa, A. Ginting, P. Adi, and E. O. Manasye, "Pengaruh Penggantian Sebagian Semen dengan Abu Tempurung Kelapa terhadap Kinerja Beton," *J. Tek. Sipil*, vol. 19, no. 2, pp. 278–292, 2023, doi: 10.28932/jts.v19i2.5286.
- [3] M. F. Eransyah, N. Paryati, and R. Sylviana, "Pengaruh Penggunaan Serbuk Arang Batok Kelapa Terhadap Kuat Tekan Beton," *J. Sains dan Teknol.*, vol. 2, no. 1, pp. 53–59, 2022, doi: 10.47233/jsit.v2i1.88.
- [4] A. Ginting, B. Santosa, and W. C. Gumilang, "Pengaruh Penambahan Abu Tempurung Kelapa Terhadap Kuat Tekan Beton Dengan Faktor Air Semen Tetap," *Ranc. bangun Tek.*, vol. 08, no. July, pp. 1–53, 2022, [Online]. Available: <http://e-journal.janabadra.ac.id/>
- [5] M. A. Adajar, J. Galupino, C. Frianeza, J. F. Aguilon, J. B. Sy, and P. A. Tan, "COMPRESSIVE



- STRENGTH AND DURABILITY OF CONCRETE WITH COCONUT SHELL ASH AS CEMENT REPLACEMENT," *Int. J. GEOMATE*, vol. 18, no. 70, pp. 183–190, 2020.
- [6] A. A.J, O. J.O, and A. A.A, "Potential Of Coconut Shell Ash As Partial Replacement Of Ordinary Portland Cement In Concrete Production," *Int. J. Eng. Sci. Invent.*, vol. 9, no. 1, pp. 47–53, 2020.
- [7] T. B. Santoso, C. A. Prastyanto, and J. J. Ekaputri, "Pemanfaatan Lumpur Sidoarjo dan Fly Ash Sebagai Material Buatan Berbasis Pasta," vol. 19, pp. 39–44, 2021.
- [8] D. S. Budiningrum, A. Kustirini, B. Purnijanto, D. Mahasukma, and T. Y. Utama, "Studi Experimental Kuat Tekan Beton Geopolimer," *Jur. Tek. Sipil, Fak. Tek. Univ. Semarang*, vol. 07, pp. 55–61, 2021.
- [9] M. Setiawati, S. Martini, and R. Nurulita, "Variasi Molaritas Naoh Dan Alkali Aktivator Beton Geopolimer," *J. Deform.*, vol. 7, no. 1, p. 56, 2022, doi: 10.31851/deformasi.v7i1.7983.
- [10] Direktorat Jenderal Bina Marga, "Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 (Revisi 2) Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan Dan Jembatan," *Edaran Dirjen Bina Marga Nomor 02/SE/Db/2018*, no. Revisi 2, pp. 1–1036, 2018.
- [11] D. Hardjito, S. E. Wallah, D. M. J. Sumajouw, and B. V. Rangan, "Factors influencing the compressive strength of fly ash-based geopolymer concrete," *Civ. Eng. ...*, vol. 6, no. 2, pp. 88–93, 2004, [Online]. Available: <http://www.freepatentsonline.com/article/Civil-Engineering-Dimension/170455954.html>
- [12] D. Hardjito and B. V Rangan, "Development and Properties of Low-calcium Fly Ash Based Geopolymer LOW-CALCIUM FLY ASH-BASED GEOPOLYMER CONCRETE By Faculty of Engineering Curtin University of Technology," *Aust. Univ. Technol. Perth*, no. January, p. 48, 2005.
- [13] Badan Standardisasi Nasional, "SNI 2460:2014 Spesifikasi abu terbang batubara dan pozolan alam mentah atau yang telah dikalsinasi untuk digunakan dalam beton," p. 16, 2014.
- [14] V. K. Nagarajan, S. A. Devi, S. P. Manohari, and M. M. Santha, "Experimental Study on Partial Replacement of Cement With Cow Dung Ash in Concrete," *Int. J. Progress. Res. Eng. Manag. Sci.*, vol. 3, no. 3, pp. 651–661, 2024, doi: 10.58257/ijprems32909.
- [15] Triwulan, J. J. Ekaputri, and T. Adiningtyas, "Analisa Sifat Mekanik Beton Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash dan Lumpur Porong Kering sebagai Pengisi," *J. Teknol. dan Rekayasa Sipil*, vol. 33, no. 3, pp. 33–45, 2007.
- [16] N. L. Gandina and Y. D. Setiyarto, "Studi Eksperimental Beton Geopolimer Dengan Memanfaatkan Fly Ash Sebagai Pengganti Semen Dan Serat Mat Sebagai Aditif," *CRANE Civ. Eng. Res. J.*, vol. 1, no. 1, pp. 26–36, 2020, doi: 10.34010/crane.v1i1.4181.