



ANALISIS PENGARUH PEMANFAATAN TEMPURUNG KELAPA SEBAGAI AGREGAT KASAR PADA BETON GEOPOLIMER BERBASIS FLY ASH

Ahmad Yudi¹, Muhammad Alif Arya Prasetya², Kirtinanda P³, Ayu Sinta Aprilia⁴

Teknik Sipil, Fakultas Infrastruktur dan Kewilayahan, Institut Teknologi Sumatera

Email: alifarya2275@gmail.com

Abstrak

Tempurung kelapa merupakan salah satu jenis limbah yang belum dimanfaatkan secara optimal tetapi memiliki potensi sebagai bahan alternatif substitusi bahan penyusun beton. Penelitian ini bertujuan untuk meninjau pengaruh substitusi tempurung kelapa sebagai agregat kasar terhadap kuat tekan beton geopolimer. Penggunaan variasi substitusi tempurung kelapa pecah berukuran <20 mm sebesar 0%, 5%, 7,5% dan 10% dan menggunakan alkali aktivator NaOH 14 M dengan perbandingan NaOH dan Na₂SiO₃ ialah 1:2,5. Metode curing digunakan oven 90°C selama 24 jam dan suhu ruang, pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 7 hari. Hasil penelitian didapat kuat tekan pada 0%, 5%, 7,5% dan 10% sebesar 18,37 MPa, 16,94 MPa, 15,92 MPa dan 16,33 MPa, penurunan kuat tekan terjadi dikarenakan tempurung kelapa menjadi lunak saat bercampur dengan NaOH dan mengurangi sifat keras dan kepadatan tempurung kelapa. Meskipun demikian, substitusi tempurung kelapa sebagai agregat kasar memiliki kelebihan dari segi lingkungan dan ekonomi dan dengan melihat nilai kuat tekan yang dihasilkan, beton dapat digunakan pada pekerjaan non struktural dan mutu rendah.

Kata kunci : Beton Geopolimer, Fly Ash, Tempurung Kelapa, Agregat Kasar

Abstract

Coconut shells are one type of waste that has not been optimally utilized but have the potential as an alternative material for substituting concrete components. This study aims to examine the effect of substituting coconut shells as coarse aggregate on the compressive strength of geopolimer concrete. The use of variations in the substitution of crushed coconut shells sized <20 mm at 0%, 5%, 7.5%, and 10%, and using an alkali activator NaOH 14 M with a NaOH to Na₂SiO₃ ratio of 1:2.5. The curing method used was an oven at 90°C for 24 hours and room temperature, with compressive strength testing conducted at 7 days of age. The research results showed compressive strengths of 18.37 MPa, 16.94 MPa, 15.92 MPa, and 16.33 MPa at 0%, 5%, 7.5%, and 10%, respectively. The decrease in compressive strength occurred because the coconut shell became soft when mixed with NaOH, reducing the hardness and density of the coconut shell. Nevertheless, the substitution of coconut shells as coarse

Article History

Received: Februari 2025

Reviewed: Februari 2025

Published: Februari 2025

Plagiarism 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/)



aggregate has advantages in terms of environmental and economic aspects, and considering the compressive strength values obtained, the concrete can be used for non-structural and low-quality work.

Keywords : *Geopolymer Concrete, Fly Ash, Coconut Shell, Coarse Aggregate*

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara berkembang dengan pertumbuhan pesat dalam berbagai bidang seperti pembangunan infrastruktur, hal ini membuat tingginya kebutuhan material seperti beton. Beton merupakan material paling umum digunakan dalam konstruksi sipil yang pada dasarnya terdiri atas agregat halus, semen, agregat kasar dan air. Rata-rata 0,77 ton CO₂ terlepas ke udara pada produksi per ton semen [1], hal ini semakin mengancam lingkungan kita karena dapat meningkatkan pemanasan global. Diperlukan inovasi beton seperti beton geopolimer yang penggunaan semennya digantikan dengan bahan pozzolan seperti *fly ash*. Selain itu, dengan meningkatnya kebutuhan beton, bahan penyusun seperti agregat kasar yang dihasilkan dari penambangan batuan juga meningkat, untuk menjaga keseimbangan lingkungan, dapat dilakukan pengurangan bahan alam tersebut dengan menggunakan limbah tempurung kelapa sebagai alternatif. Dengan produksi mencapai 2,86 juta metrik ton pada tahun 2023, Indonesia menjadi negara produksi kelapa terbesar kedua di dunia, menurut data dari *International Coconut Community (ICC)*. Dengan angka produksi yang besar menghasilkan limbah tempurung kelapa yang sangat banyak dan masih belum terdapat perkembangan pemanfaatan limbah untuk mengurangi limbah tempurung kelapa secara signifikan.

Beton geopolimer ialah jenis beton dengan penggunaan bahan pozzolan sebagai pengikat dan menggunakan proses polimerisasi untuk reaksi pengikatan yang terjadi. Pada proses polimerisasi peran penting terdapat pada kandungan alumunium (Al) dan silika (Si). Beton geopolimer tidak memanfaatkan semen sebagai bahan pengikat melainkan memanfaatkan bahan dengan kandungan alumunium dan silika yang besar seperti *fly ash* [2]. Berbeda dengan beton konvensional, proses pengikatan beton geopolimer menggunakan reaksi polimerisasi. Bahan penyusun penting dalam laju polimerisasi ialah *fly ash* dan alkali aktivator. *Fly ash* ialah material sisa pembakaran batubara pada PLTU yang berada pada sisi atas cerobong asap dan memiliki kandungan alumina dan silika yang tinggi sehingga dapat dijadikan pengganti semen [3]. Selain itu, dalam pembuatan beton geopolimer diperlukan larutan kimia berupa alkali yang terdiri dari NaOH (Natrium Hidroksida) dan Na₂SiO₃ (Natrium Silikat) memiliki fungsi sebagai pengaktivasi atau pengikat pada beton geopolimer [4].

Tempurung kelapa adalah salah satu sisa pengolahan rumah tangga dan tempat usaha yang bahan utamanya menggunakan kelapa. Sekitar 15-19% dari total berat buah kelapa terdiri dari tempurungnya [5]. Pemanfaatan limbah tempurung kelapa seringkali digunakan untuk bahan bakar masak. Tempurung kelapa merupakan bagian buah kelapa yang mempunyai sifat terkeras dibanding dengan bagian lain pada buah kelapa [6]. Sebagai upaya pemanfaatan limbah tempurung kelapa dan mengurangi pencemaran lingkungan dengan karakteristik fisik yang berwujud padat dan keras maka tempurung kelapa cocok digunakan



sebagai material penyusun beton sebagai substitusi agregat kasar dalam keberlanjutan produksi beton.

Terdapat beberapa penelitian yang membahas tentang pemanfaatan limbah tempurung kelapa sebagai substitusi agregat kasar. Misalnya penelitian [6], yang mana menggunakan persentase pecahan tempurung kelapa sebagai agregat kasar dengan variasi 30%, 20%, 10% dan 0%, hasil penelitian menunjukkan kuat tekan optimal yang dicapai benda uji pada penggunaan variasi 10% dengan hasil kuat tekan lebih besar 1,06% dibandingkan kuat tekan beton konvensional yaitu 22,038 MPa dan 20,764 MPa. Penelitian serupa dilakukan juga oleh [7] dengan menggunakan *fly ash* 20% sebagai material pengisi dan tempurung kelapa sebagai pengganti agregat kasar dengan variasi persentase 5%, 4%, 3%, 2% dan 0%, didapat hasil kuat tekan yang meningkat paling besar pada variasi 2% yaitu pada hari 14 sebesar 25 MPa dan hari ke 28 sebesar 28,02 MPa, sesuai kuat tekan rencana sebesar 25 MPa. Sementara itu [8] juga melakukan penelitian serupa dengan mensubstitusi tempurung kelapa sebagai agregat kasar menggunakan variasi 11,5%; 9,5%; 7,5%; 5,5% dan 3%, didapat hasil pada variasi 3% terjadi peningkatan kuat tekan sebesar 3,3% yaitu 20,66 MPa dibandingkan kuat tekan beton normal yang direncanakan yaitu 20 MPa.

Dari penjelasan sebelumnya maka dapat disimpulkan bahwa pemanfaatan tempurung kelapa sebagai substitusi agregat kasar dapat memberi pengaruh terhadap kuat tekan beton konvensional. Oleh karena itu, untuk penelitian selanjutnya diperlukan analisis terhadap pemanfaatan tempurung kelapa sebagai substitusi agregat kasar pada beton geopolimer. Dengan dilakukan penelitian ini diharapkan dapat memberikan pengetahuan tentang pengaruh pemanfaatan substitusi tempurung kelapa sebagai agregat kasar pada beton geopolimer berbasis *fly ash*.

2. Kajian Pustaka

2.1. Fly Ash

Fly ash ialah material sisa yang dihasilkan dari hasil pembakaran batubara pada pembangkit listrik tenaga uap yang terbang dan berada pada sisi atas cerobong asap dalam SNI 2460:2014. Karena kandungan oksida alumina dan silika yang tinggi sehingga *fly ash* termasuk kategori sebagai bahan pozzolan [3].

Fly Ash digolongkan menjadi dua kategori, yaitu:

1. *Fly Ash* Kalsium Rendah ($\text{CaO} < 10\%$)
2. *Fly Ash* Kalsium Tinggi ($\text{CaO} > 10\%$).

Berikut persyaratan kimia pada setiap jenis *fly ash*:

Tabel 1. Persyaratan Kimia *Fly Ash*

Uraian	Kelas		
	N	F	C
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ , min %	70	70	50
SO ₃ , maks %	4	5	5
Kadar air, maks %	3	3	3
Hilang pijar, maks %	10	6	6

Sumber: SNI 2460:2014



Pada geopolimer, penggunaan *fly ash* kalsium tinggi memiliki waktu *setting* enam kali lebih cepat daripada *fly ash* kalsium rendah karena kadar CaO yang berbeda [3].

2.3. Slump

Slump merupakan besaran plastisitas atau kekentalan dan kohesif dari beton segar. Pengujian *slump* dilakukan dengan cara mengukur secara tegak lurus antara tinggi beton segar dengan tepi atas cetakan. Pengujian *slump* biasanya dilakukan sebanyak dua kali dengan campuran beton yang sama untuk menghasilkan data yang akurat dengan hasil yang dihitung secara rata – rata (SNI 03-1972-1990).

Slump adalah ketinggian campuran beton pada kerucut terpancung (kerucut abrams) terhadap tinggi campuran beton setelah cetakan diangkat. *Slump* digunakan untuk mengetahui kemampuan kerja campuran beton diukur dari kemerosotannya, semakin elastis campuran, maka semakin mudah dalam pengerjaannya (*workability* tinggi) [9]. Peningkatan nilai *slump* yang diperoleh maka beton akan semakin cair dan mempermudah dalam pengerjaan, sebaliknya jika penurunan nilai *slump*, maka beton akan semakin kental dan sulit dalam pengerjaan. Beton geopolimer mempunyai nilai *slump* 0 mm yang menyebabkan beton geopolimer sangat sulit dilakukan pencetakan atau tidak *workability* [10].

2.4. Berat Volume Beton

Berat volume beton adalah beratnya beton dalam setiap meter kubik. Berat volume beton bergantung pada jenis campuran beton dan bahan yang digunakan, semakin padat beton maka menghasilkan beton yang lebih berat dan dapat membuat beton menjadi lebih kuat [11]. Pengujian berat volume beton biasanya dilakukan sebelum melakukan pengujian kuat tekan. Dilakukan penimbangan terhadap benda uji untuk mendapat berat benda uji dan benda uji diukur diameter dan tinggi untuk mendapatkan volume benda uji. Berat volume beton dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Berat Volume Beton} = \frac{W_b}{V_b} \quad (1)$$

Keterangan:

W_b = Berat benda uji beton (kg)

V_b = Volume benda uji beton (m^3)

2.7. Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan bertujuan untuk mengetahui seberapa kuat suatu beton untuk menahan beban atau tekanan yang diberikan. Pada pengujian kuat tekan beton ini membutuhkan alat yang biasa disebut *Compression Testing Machine*. Pengujian ini dilaksanakan dengan cara memberikan tekanan atau beban kesampel uji beton yang diletakkan di alat CTM hingga sampel uji beton tersebut mengalami retak/hancur dan kemudian melakukan pembacaan skala pada alat CTM. Setelah melakukan pembacaan pada skala alat CTM, kemudian dilakukan perhitungan nilai kuat tekan beton. Umumnya, pengujian kuat tekan dilakukan saat umur 28 hari, akan tetapi bisa saja dilakukan pengujian kuat tekan umumnya dilakukan pada umur 7, 14, dan 21 hari dengan melakukan perhitungan nilai korelasi. Berbeda dengan boten konvensional, beton geopolimer memperoleh sebagian besar kekuatannya pada 7 hari pertama. Oleh karena itu, pengujian kuat tekan dapat dilakukan pada saat beton geopolimer berumur 7 hari [12].



Menurut SNI 1974-2011, untuk menentukan nilai kuat tekan dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$f_c' = \frac{P}{A} \quad (2)$$

Keterangan:

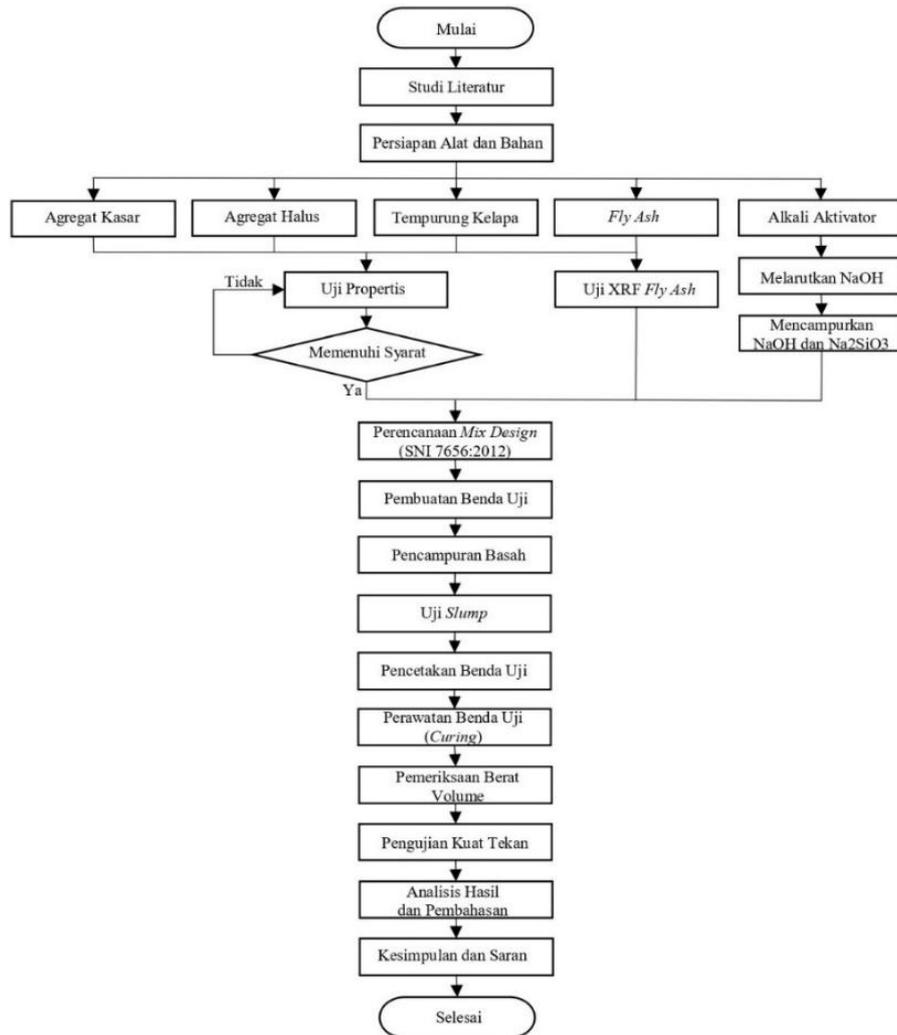
f_c' = Kuat tekan beton (N/mm²)

P = Gaya tekan aksial (N)

A = Luas penampang suatu benda uji (mm²)

3. METODE

Penelitian dimulai dengan melakukan studi literatur pada penelitian terdahulu dengan tema pembahasan yang sama dengan penelitian ini. Kemudian peneliti melakukan persiapan alat dan bahan yang akan digunakan saat pembuatan sampel uji seperti agregat (kasar dan halus), tempurung kelapa, *fly ash* dan alkali aktivator. Agregat (kasar dan halus), tempurung kelapa, dan *fly ash* dilakukan pengujian propertis dan uji XRF *fly ash* untuk mengetahui kandungan kimia pada *fly ash*. Dalam pembuatan alkali aktivator dilakukan dengan melarutkan NaOH 14M dan mencampurkannya dengan Na₂SiO₃ dengan rasio 1:2,5. Setelah melakukan pengujian material dan pembuatan alkali aktivator, hal selanjutnya yaitu melakukan perhitungan *mix design* dengan menggunakan acuan SNI 7656:2012. Selanjutnya yaitu membuat sampel dengan mencampurkan material yang sudah disiapkan sesuai komposisi material pada *mix design* menggunakan metode pencampuran basah. Setelah itu, melakukan pengujian *slump* untuk mengetahui *workability* campuran. Selanjutnya, dilakukan proses pencetakan benda uji menggunakan *mould* ukuran 100 mm × 200 mm. Setelah beton mengeras, maka dilakukan proses curing oven dengan suhu 90°C selama 24 jam dan curing suhu ruang dengan jangka waktu sesuai pengujian kuat tekan. Ketika proses curing telah selesai maka dilanjutkan dengan pemeriksaan berat volume beton. Kemudian dilakukan pengujian kuat tekan pada hari ke-7. Setelah mendapatkan data dari pengujian *slump*, pemeriksaan berat volume beton dan pengujian kuat tekan, maka langkah selanjutnya yaitu melakukan analisis dan pengolahan data yang dilanjutkan dengan membuat kesimpulan dan saran untuk penelitian selanjutnya. Diagram alir penelitian disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

3.1. Variasi Benda Uji

Penelitian yang dilakukan ialah jenis penelitian eksperimen dengan sampel berjumlah 12 yang terdiri atas 3 sampel pada setiap variasi dengan kode 0% (N1), 5% (GTK 1), 7,5% (GTK 2), 10% (GTK 3).

Tabel 2. Variasi Benda Uji

Kode	Umur Beton	Penambahan Tempurung Kelapa	Jumlah Sampel
N1	7	0%	3
GTK 1		5%	3
GTK 2		7,50%	3
GTK 3		10%	3
Jumlah Sampel			12

3.2. Persiapan dan Pengujian Material

Sebelum proses *mix design* dan pembuatan benda uji, tahap pertama yang dilakukan ialah uji properti material yang digunakan sebagai data dalam rancangan campuran beton. Adapun material yang harus dipersiapkan dan di uji dalam pembuatan beton geopolimer ini yaitu agregat halus, agregat kasar, tempurung kelapa, abu terbang, dan larutan alkali.



1. Agregat halus

Agregat halus ialah material campuran beton berupa pasir alam yang berfungsi sebagai mortar pengikat agregat kasar. Pengujian yang dilakukan yaitu analisis saringan, kadar air, berat jenis, penyerapan, zat organik, kadar lumpur, berat volume. Apabila hasil pengujian telah memenuhi persyaratan, agregat halus dapat digunakan sebagai material campuran beton geopolimer. Adapun persiapan sebelum dilakukan pembuatan benda uji, agregat halus direndam selama 24 jam kemudian ditiriskan hingga keadaan kering jenuh permukaan.

2. Agregat kasar

Agregat kasar ialah batuan yang bersumber dari pecahan batuan alam. Pengujian yang dilakukan yaitu analisis saringan, kadar air, berat jenis, penyerapan, kadar lumpur, keausan, berat volume. Apabila hasil pengujian telah memenuhi persyaratan, agregat halus dapat digunakan sebagai material campuran beton geopolimer. Adapun persiapan sebelum dilakukan pembuatan benda uji, agregat halus direndam selama 24 jam kemudian ditiriskan hingga keadaan kering jenuh permukaan.

3. Tempurung kelapa

Tempurung kelapa merupakan limbah yang berasal dari buah kelapa, dimana 15-19% dari total berat buah kelapa terdiri dari tempurungnya. Pemanfaatan limbah tempurung kelapa seringkali digunakan untuk bahan bakar masak. Tempurung kelapa merupakan bagian buah kelapa yang mempunyai sifat terkeras dibanding dengan bagian lain pada buah kelapa sehingga cocok digunakan sebagai substitusi agregat kasar. Pengujian yang dilakukan pada tempurung kelapa ialah berat volume. Persiapan yang harus dilakukan yaitu membersihkan tempurung kelapa dari serat kelapa, merendam tempurung kelapa selama 1 jam, mencuci tempurung kelapa menggunakan air, menjemur tempurung kelapa di bawah sinar matahari, dan memecahkan tempurung menjadi ukuran <20 mm.

4. Abu terbang

Fly ash ialah material sisa pembakaran batubara pada PLTU yang berada pada sisi atas cerobong asap dan memiliki kandungan alumina dan silika yang tinggi sehingga bersifat pozzolan yang dapat digunakan sebagai pengganti semen. Pengujian yang dilakukan pada abu terbang ialah berat jenis dan *x-ray fluorescence* (XRF) untuk mengetahui kandungan kimia. Persiapan yang dilakukan melakukan penyaringan dengan ukuran lolos saringan No. 30 sebelum digunakan sebagai material campuran beton.

5. Larutan alkali

Larutan alkali yang digunakan pada penelitian ini ialah dua campuran larutan yaitu NaOH dengan kadar 98% yang dilarutkan pada air sesuai molaritas yang diinginkan dan Na_2SiO_3 yang berfungsi mempercepat proses polimerisasi. Padatan NaOH yang dilarutkan dengan air akan menimbulkan reaksi panas maka perlu didiamkan selama 24 jam sebelum dicampur dengan Na_2SiO_3 , saata pelarutan NaOH perlu disimpan pada wadah tertutup sebagai upaya mencegah penguapan. Molaritas NaOH yang



digunakan 14 M yaitu mencampurkan 560 gram NaOH padatan pada 1000 mL air. Rasio Na_2SiO_3 dan NaOH yang digunakan sebesar 2,5:1.

3.3. Pembuatan Benda Uji

1. Mempersiapkan alat yang dibutuhkan dan material sesuai *mix design*.
Pada tahap ini, peralatan penunjang dan material agregat (kasar dan halus), air, *fly ash*, NaOH, dan Na_2SiO_3 dipersiapkan sesuai dengan perencanaan dan telah dilakukan proses penimbangan.
2. Pembuatan alkali aktivator.
Pada tahap ini, NaOH dilarutkan menggunakan air sesuai komposisi untuk mencapai molaritas yang direncanakan kemudian mendinginkan larutan hingga 24 jam. Setelah 24 jam, larutan NaOH dicampur dengan Na_2SiO_3 dan diaduk hingga merata.
3. Melakukan proses pencampuran beton geopolimer.
Pada tahap ini, material yang telah disiapkan dimasukkan ke dalam *mixer*, dengan pertama yaitu memasukkan agregat kasar dan agregat halus, lalu masukkan *fly ash*, setelah itu masukkan alkali aktivator, air tambahkan dan *superplasticizer* hingga campuran beton homogen.
4. Melakukan uji *slump*.
Pada tahap ini, dilakukan pengujian *slump* untuk mendapatkan konsistensi nilai *slump* dari setiap variasi. Dalam pengujian *slump* menggunakan kerucut *abrams*, pelat baja, dan batang penumbuk. Pertama letakkan kerucut *abrams* diatas pelat baja lalu masukkan adukan beton segar kedalam kerucut *abrams*, dilakukan penumbukan 25 kali pada setiap 1/3 campuran, kemudian angkat kerucut *abrams* searah vertikal ke atas dan dilakukan tinggi jatuh dari campuran beton, dimana berikut merupakan nilai *slump* dari campuran beton berikut.
5. Melakukan proses pencetakan benda uji.
Pada tahap ini, campuran beton di masukkan ke dalam cetakan silinder berukuran 100 mm × 200 mm, kemudian melakukan penumbukan sebanyak 25 kali pada setiap 1/3 campuran beton dan memastikan tidak terdapat rongga udara dengan mengetuk cetakan dengan palu karet dan menghasilkan campuran yang padat pada cetakan.
6. Melakukan proses pelepasan benda uji dari cetakan.
Pada tahap ini, setelah didiamkan 24 jam, maka selanjutnya dilakukan membuka cetakan dan kemudian dilakukan perawatan benda uji dengan curing oven dan dilanjutkan curing suhu ruang.

3.4. Perawatan Benda Uji

Perawatan beton yang digunakan menggunakan 2 metode, setelah melewati 24 jam dari pencetakan benda uji, kemudian benda uji dibungkus dengan plastik film anti panas dan dimasukkan pada oven pada suhu 90°C selama ±24 jam, hal ini agar tidak terjadi penguapan berlebihan pada beton. Setelah 24 jam, dilanjutkan dengan mengeluarkan



benda uji dan dilanjutkan curing pada suhu ruang dan dibiarkan selama rencana umur beton 7 hari sebelum dilakukan pengujian kuat tekan.

3.5. Pemeriksaan Berat Volume Beton

Pemeriksaan berat volume dilakukan dengan penimbangan benda uji dan pengukuran dimensi benda uji sebelum dilakukan uji kuat tekan.

3.6. Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan dilakukan setelah pemeriksaan berat volume dengan tata cara pengujian mengacu pada standar SNI 1974 –2011 dan dilakukan pada sampel umur 7 hari. Benda uji diletakkan pada mesin. CTM (*Compression Testing Machine*) dan mengoperasikan mesin CTM dengan menambahkan tekanan pada beton secara konstan. Ketika beton telah mencapai titik maksimum dalam menerima beban, selanjutnya akan dilakukan pencatatan hasil kuat tekan. Mesin uji akan menunjukkan kuat tekan dalam satuan kN kemudian dikonversikan dalam satuan MPa dengan menggunakan persamaan 2, setelah mendapat hasil kuat tekan diperlukan konversi ukuran mould dari 10 cm × 20 cm ke mould 15 cm × 30 cm sesuai dengan SNI 1974-2011.

4. HASIL PENELITIAN

4.1. Hasil Pengujian Material Penyusun Beton

Rekapitulasi hasil pengujian material seperti agregat halus, agregat kasar, tempurung kelapa dan abu terbang dapat dilihat pada Tabel 2 yang terdiri atas pengujian analisis saringan, kadar air, berat jenis, penyerapan, kadar lumpur, zat organik, keausan, dan berat volume. Hasil pengujian ini telah memenuhi persyaratan SNI (Standar Nasional Indonesia). Maka, material dapat digunakan sebagai campuran beton geopolimer.

Tabel 3. Rekapitulasi Hasil Pengujian Propertis

Material	Parameter		Satuan	Hasil Pengujian
Agregat halus	Analisis saringan	Modulus kehalusan	%	2,59
	Kadar air		%	1,21
	Berat jenis	Bulk	-	2,485
		Apparent	-	2,589
		SSD	-	2,525
	Penyerapan		%	1,626
	Zat organik		-	2
	Kadar lumpur		%	2,95
Berat volume		kg/m ³	1428,805	
Agregat kasar	Analisis saringan	Modulus kehalusan	%	6,532
	Kadar air		%	1,42
	Berat jenis	Bulk	-	2,546
		Apparent	-	2,742
		SSD	-	2,617
	Penyerapan		%	2,808
	Kadar lumpur		%	1,35
	Keausan		%	19,06



Material	Parameter	Satuan	Hasil Pengujian
	Berat volume	kg/m ³	1465,334
Tempurung kelapa	Berat volume	kg/m ³	543,312
Abu terbang	Berat jenis	g/cm ³	2,34

4.2. Hasil Pengujian X-Ray Fluorences

Hasil pengujian XRF pada abu terbang dapat dilihat pada Tabel 3, total komposisi senyawa SiO₂, Al₂O₃ dan Fe₂O₃ sebesar 80,404%, dan kandungan CaO 9,81%. Berdasarkan SNI 2460-1014, abu terbang termasuk ke dalam kriteria kelas F. Setelah dilakukan pengujian maka, abu terbang dapat digunakan sebagai campuran beton geopolimer

Tabel 4. Hasil Pengujian XRF Abu Terbang

Element			Oxides		
Compound	Cone	Unit	Compound	Cone	Unit
Mg	1,523	%	MgO	1,704	%
Al	17,323	%	Al ₂ O ₃	21,276	%
Si	35,703	%	SiO ₂	45,226	%
P	0,716	%	P ₂ O ₅	0,877	%
S	2,857	%	SO ₃	3,769	%
K	1,977	%	K ₂ O	1,211	%
Ca	14,323	%	CaO	9,858	%
Ti	2,36	%	TiO ₂	1,847	%
Mn	0,333	%	MnO	0,188	%
Fe	22,618	%	Fe ₂ O ₃	13,902	%

4.3. Perencanaan Campuran Beton

Perencanaan campuran beton berdasarkan pada SNI 7656-2012, dengan menggantikan air menjadi larutan alkali dan semen menjadi *fly ash*. Pada perancangan ini ditambahkan *superplasticizer* 2% dari berat *fly ash*.

Tabel 5. Rancangan Campuran Beton Geopolimer untuk 1 m³

No.	Material	Berat (kg)
1	Fly Ash	380
2	NaOH	58,994
3	Na ₂ SiO ₃	147,485
4	Agregat Halus	845,847
5	Agregat Kasar	952,64
6	Superplasticizer	7,6

Tabel 6. Rancangan Campuran Beton Geopolimer Tiap Variasi

No	Keterangan	Variasi Tempurung Kelapa			
		0%	5%	7,50%	10%
1	Fly Ash	2,148	2,148	2,148	2,148
2	NaOH	0,333	0,333	0,333	0,333
3	Na ₂ SiO ₃	0,834	0,834	0,834	0,834



No	Keterangan	Variasi Tempurung Kelapa			
		0%	5%	7,50%	10%
4	Agregat Halus	4,781	4,781	4,781	4,781
5	Agregat Kasar	5,384	5,285	5,235	5,185
6	Tempurung Kelapa	0,000	0,100	0,150	0,200
7	Superplasticizer	0,043	0,043	0,043	0,043

Setelah itu, rasio molar karena *fly ash* mengalami polimerisasi dengan alkali aktivator yang digunakan. Rasio molar pada campuran merupakan salah satu faktor penting pada beton geopolimer, karena pengikatan pada beton geopolimer terjadi kakibat polimerisasi, jika terdapat kelebihan dan kekurangan rasio molar maka dapat mengganggu polimerisasi yang terjadi.

Tabel 7. Rasio Molar Pada Campuran

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	12355,56	0,24	4,75	11,27

Tabel 8. *Water/Solid Ratio* Geopolimer

Sodium Hidroksida		Sodium Silikat		<i>Fly Ash</i>	<i>Added Water</i>	Total		w/s
Solid	Water	Solid	Water			Water	Solid	
35,98	53,01	98,11	124,37	456	44,3	221,68	590,09	0,376

4.4. Hasil Pengujian Beton

Hasil Pengujian *Slump*

Hasil pengujian didapat nilai *slump* 0 pada seluruh beton geopolimer. Hal ini berarti beton geopolimer tidak *workability* dan menyebabkan campuran beton geopolimer sulit untuk dicetak, ini juga terjadi pada penelitian yang dilakukan [10]. Berdasarkan nilai *slump* yang dihasilkan, dapat disimpulkan bahwa substitusi tempurung kelapa sebagai agregat kasar pada beton geopolimer berbasis *fly ash* tidak memiliki pengaruh terhadap nilai *slump* dikarenakan *slump* yang dihasilkan sama pada setiap variasi.

Hasil Pengujian Berat Volume

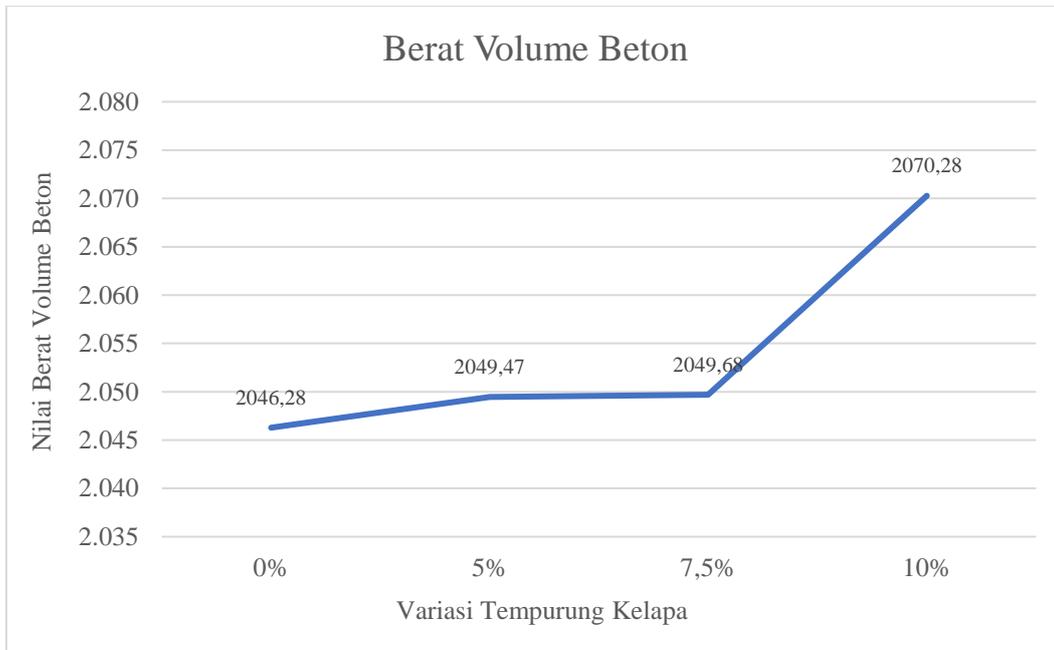
Hasil pengujian berat volume beton dapat dilihat pada Tabel 9, beton dengan nilai berat volume tertinggi terdapat pada variasi 10% dan beton dengan nilai berat volume terendah terdapat pada variasi 0%. Hasil yang didapat terlihat bahwa berat volume berada kisaran 2046,28 kg/m³ - 2070,28 kg/m³ yang masih termasuk ke dalam jenis beton normal, hal ini sesuai dengan pengujian yang dilakukan oleh [13]. Hasil berat volume beton dipengaruhi oleh beberapa hal, seperti berat jenis bahan penyusun. Walaupun hasil pengujian tergolong dalam jenis beton normal, berat volume yang diperoleh lebih kecil dibandingkan dengan beton semen konvensional pada umumnya ini disebabkan oleh berat jenis *fly ash* yang digunakan lebih rendah dari berat jenis semen yaitu 2,34 gr/cm³ untuk *fly ash* dan 3,15 gr/cm³ untuk semen. Pada penelitian ini menggunakan 100% *fly ash* maka berat volume beton yang dihasilkan juga akan lebih kecil dibandingkan berat



volume beton konvensional. Selain itu, kepadatan beton juga berpengaruh pada hasil berat volume, hasil berat volume yang rendah dibandingkan rencana dikarenakan proses pemadatan yang kurang rata sebab pada penelitian ini menghasilkan beton yang tidak *workability* yang membuat beton sulit untuk dicetak. Berdasarkan berat volume yang dihasilkan, dapat disimpulkan bahwa substitusi tempurung kelapa sebagai agregat kasar mempengaruhi hasil berat volume beton, tetapi pengaruh yang dihasilkan tidak signifikan dikarenakan perbedaan yang dihasilkan antara berat volume yang dihasilkan dari seluruh benda uji tidak terlalu besar.

Tabel 9. Hasil Pengujian Berat Volume

Variasi	Berat volume rata-rata (kg/m ³)
0%	2046,28
5%	2049,47
7,50%	2049,68
10%	2070,28



Gambar 2. Grafik Hubungan Variasi Tempurung Kelapa dan Berat Volume Beton

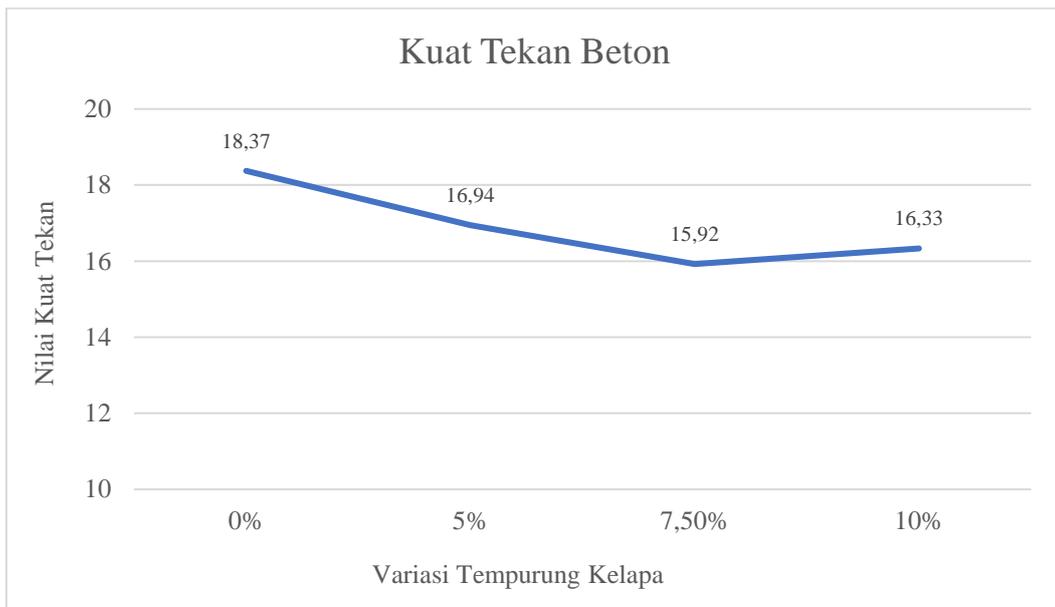
Hasil Pengujian Kuat Tekan

Hasil pengujian kuat tekan beton dapat dilihat pada Tabel 10, berdasarkan kuat tekan yang dihasilkan, dapat disimpulkan bahwa substitusi agregat kasar menggunakan tempurung kelapa dapat mempengaruhi kuat tekan pada beton geopolimer berbasis *fly ash* dengan persentase substitusi agregat kasar yang digantikan oleh tempurung kelapa lebih tinggi, menghasilkan kuat tekan beton yang lebih rendah pada beton geopolimer berbasis *fly ash*. Hal ini dapat terjadi karena tempurung kelapa yang tercampur dengan NaOH dapat menjadi lebih dan mengurangi sifat keras dan kepadatan tempurung kelapa [14]. Dengan melihat nilai kuat tekan yang dihasilkan, substitusi tempurung kelapa sebagai agregat kasar pada beton geopolimer berbasis *fly ash* dapat dilakukan sebagai alternatif untuk pengurangan penggunaan semen dan pemanfaatan limbah tempurung kelapa yang digunakan pada pekerjaan non struktural dan pekerjaan yang membutuhkan mutu rendah.



Tabel 10. Hasil pengujian kuat tekan

Variasi	Kuat tekan rata-rata (MPa)
0%	18,37
5%	16,94
7,50%	15,92
10%	16,33



Gambar 3. Grafik Hubungan Variasi Tempurung Kelapa dan Kuat Tekan

4.5. Analisis Kuat Tekan Beton Menggunakan ANOVA

Analysis of Variance (ANOVA) ialah suatu metode statistik yang digunakan untuk mengukur perbedaan signifikan antara rata-rata dari dua atau lebih kelompok atau perlakuan yang berbeda. ANOVA yang digunakan pada penelitian ini digunakan untuk mengukur perbedaan hasil pengujian kuat tekan beton dengan variasi substitusi tempurung kelapa, sehingga yang digunakan adalah ANOVA satu arah. Berikut merupakan hasil perhitungan dengan nilai F_{tabel} didapatkan dari tabel distribusi F dengan nilai α sebesar 0,05, dan didapat F_{tabel} sebesar 4,07.

Tabel 11. *Analysis of Variance*

Sumber Variansi	JK	df	VAR	F_{hitung}	F_{tabel}
Antar Kelompok	10,346	3	3,449	4,797	4,07
Dalam Kelompok	5,751	8	0,719		
Total	16,098	12			

Berdasarkan perhitungan didapatkan nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$ maka H_0 ditolak dan kesimpulan yang didapatkan yaitu ada pengaruh antara nilai kuat tekan yang dihasilkan dengan substitusi tempurung kelapa sebagai agregat kasar. Berdasarkan hasil tersebut, diperlukan uji lanjut menggunakan *Tukey Method*, merupakan metode perbandingan berganda dilakukan jika hasil dari kesimpulan *analysis of variance* (ANOVA) signifikan. Berikut merupakan hasil perhitungan yang dilakukan pada Tabel 12.

Tabel 12. *Tukey Method*

Sampel	Selisih Data	Ti	Kesimpulan
(1,2)	1,43	0,97	berbeda, signifikan
(1,3)	2,45	0,97	berbeda, signifikan
(1,4)	2,04	0,97	berbeda, signifikan
(2,3)	1,02	0,97	berbeda, signifikan
(2,4)	0,61	0,97	berbeda, tidak signifikan
(3,4)	0,41	0,97	berbeda, tidak signifikan

Berdasarkan uji tukey diatas, sampel 2, 3 dan 4 memiliki rata-rata yang berbeda tidak signifikan, tetapi ketiga rata-ratanya berbeda signifikan dengan sampel 1, maka didapat dapat disimpulkan bahwa kuat tekan optimum terjadi pada sampel 1 atau variasi 0% substitusi tempurung kelapa sebagai agregat kasar.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Pada umur beton 7 hari, hasil pengujian kuat tekan beton geopolimer dengan variasi substitusi tempurung kelapa sebagai agregat kasar sebesar 0%; 5%; 7,5% dan 10% didapat berturut-turut adalah 18,37 MPa, 16,94 MPa, 15,92 MPa, 16,33 MPa. Kuat tekan tertinggi didapat pada variasi 0% yaitu sebesar 18,37 MPa. Dari hasil penelitian didapat susbtitusi tempurung kelapa sebagai agregat kasar mempengaruhi nilai kuat tekan beton geopolimer, semakin besar persentase substitusi maka nilai kuat tekan yang dihasilkan semakin kecil dikarenakan terjadi pelunakan tempurung kelapa akibat tercampur dengan NaOH. Beton yang dihasilkan dengan mutu berikut dapat digunakan pada konstruksi non struktural yang membutuhkan mutu rendah seperti lantai kerja dan kerb jalan.
2. Hasil berat volume beton geopolimer dengan variasi substitusi tempurung kelapa sebagai agregat kasar sebesar 0%; 5%; 7,5% dan 10% didapat berturut-turut adalah 2046,28 kg/m³, 2049,47 kg/m³, 2049,68 kg/m³, 2070,28 kg/m³. Berat volume tertinggi didapat pada variasi 10% yaitu sebesar 2070,28 kg/m³. Dari hasil penelitian didapat susbtitusi tempurung kelapa sebagai agregat kasar mempengaruhi hasil berat volume beton, tetapi pengaruh yang dihasilkan tidak signifikan dikarenakan perbedaan yang dihasilkan antara berat volume yang dihasilkan dari seluruh benda uji tidak terlalu besar. Dengan hasil berat volume yang lebih kecil dibandingkan beton konvensional disebabkan oleh berat jenis *fly ash* yang digunakan lebih rendah dari berat jenis semen yaitu 2,34 gr/cm³ untuk *fly ash* dan 3,15 gr/cm³ untuk semen. Selain itu, kepadatan beton juga berpengaruh pada hasil berat volume, hasil berat volume yang rendah dibandingkan rencana dikarenakan proses pemadatan yang kurang rata sebab pada penelitian ini menghasilkan beton yang tidak *workabiliy* sehingga beton sulit untuk dicetak.
3. Hasil pengujian *slump* beton geopolimer dengan variasi substitusi tempurung kelapa sebagai agregat kasar sebesar 0%; 5%; 7,5% dan 10% didapat 0 mm pada setiap variasi. Hal ini menunjukkan bahwa beton geopolimer memiliki *workability* yang jelek dan menyebabkan campuran sangat sulit untuk dicetak. Dari hasil penelitian didapat susbtitusi tempurung kelapa sebagai agregat kasar tidak mempengaruhi nilai *slump* beton.



4. Hasil analisis kuat tekan yang dilakukan dengan menggunakan ANOVA satu arah yaitu terdapat pengaruh antara nilai kuat tekan yang dihasilkan dengan substitusi tempurung kelapa dibuktikan dengan nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$ yaitu $4,797 > 4,07$. Kemudian dilakukan uji lanjut dengan metode tukey dan didapat kesimpulan sampel 2, 3 dan 4 memiliki rata-rata yang berbeda tidak signifikan, tetapi ketiga rata-ratanya berbeda signifikan dengan sampel 1, maka didapat dapat disimpulkan bahwa kuat tekan optimum terjadi pada sampel 1 atau variasi 0% substitusi tempurung kelapa sebagai agregat kasar.

Saran

1. Perlu memperhatikan jenis *fly ash* yang digunakan untuk beton geopolimer karena dengan kelas *fly ash* yang sama masih memungkinkan memiliki karakteristik *fly ash* yang sangat berbeda di setiap sumber PLTU.
2. Perlu dilakukan uji reaktivitas silika untuk mengetahui kadar silika yang reaktif dan non reaktif.
3. Melakukan pengujian kuat tekan umur beton seperti 14, 28, dan 56 hari untuk melihat grafik hubungan kuat tekan dan umur beton.

6. DAFTAR REFERENSI

- [1] I. G. D. Atmaja and E. Haryono, "ANALISIS LANDSCAPE CAPACITY INDUSTRI SEMEN DI PULAU JAWA," Yogyakarta, 2014.
- [2] J. Davidovits, "Geopolymers: Inorganic Polymeric New Materials," *Journal of Thermal Analysis*, 1991.
- [3] A. K. Yasin, "REKAYASA BETON GEOPOLIMER BERBASIS FLY ASH," Surabaya.
- [4] I. Putra, C. N. Hajani, A. Fauzi, and H. Mahyar, "PENGUNAAN FLY ASH PANGKALAN SUSU TERHADAP IKATAN MIKROSTRUKTUR DAN KARAKTERISTIK PASTA GEOPOLIMER," *Bisnis, Sosial dan Teknologi*, vol. 12, no. 2, pp. 81–89, 2022.
- [5] D. Irawan and U. Khatulistiani, "SUBSTITUSI AGREGAT KASAR MENGGUNAKAN PECAHAN TEMPURUNG KELAPA PADA CAMPURAN BETON NORMAL," *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Konstruksi*, vol. 9, pp. 61–70, Apr. 2021.
- [6] B. A. Fau and A. A. Setiawan, "Studi Eksperimental Kombinasi Gelas dan Tempurung Kelapa Sebagai Substitusi Parsial Agregat Kasar Terhadap Kuat Tekan Beton," *Dinamika Rekayasa*, vol. 15, no. 2, p. 135, Aug. 2019, doi: 10.20884/1.dr.2019.15.2.261.
- [7] M. A. S. D. S and D. Pertiwi, "PENGARUH PECAHAN TEMPURUNG KELAPA SEBAGAI PENGANTI SEBAGIAN AGREGAT KASAR DAN FLYASH SEBAGAI PENGISI PADA CAMPURAN BETON DITINJAU DARI KUAT TEKAN BETON," *Seminar Teknologi Perencanaan, Perancangan, Lingkungan, dan Infrastruktur II FTSP ITATS*, Feb. 2021.
- [8] S. Nento, J. T. O. R. Abdullah, N. Doda, M. R. Olli, and R. A. Djau, "Analisis Karakteristik Beton Menggunakan Tempurung Kelapa Pengganti Sebagian Agregat Kasar Dengan Mutu FC 20 MPa," *Jurnal Peradaban Sains, Rekayasa dan Teknologi*, 2022.
- [9] F. M. Van Gobel, "NILAI KUAT TEKAN BETON PADA SLUMP BETON TERTENTU," *Jurnal Peradaban Sains, Rekayasa dan Teknologi*, 2017.
- [10] J. J. Ekaputri, "SIFAT MEKANIK BETON GEOPOLIMER BERBAHAN DASAR FLY ASH JAWA POWER PAITON SEBAGAI MATERIAL ALTERNATIF," *Jurnal ;PONDASI*, 2007.
- [11] M. Hanri, "Analisis Hubungan Berat Isi Dengan Kuat Tekan Beton," Makassar, 2018.



- [12] M. T. Junaid, O. Kayali, A. Khennane, and J. Black, "A mix design procedure for low calcium alkali activated fly ash-based concretes," *Constr Build Mater*, vol. 79, pp. 301–310, Mar. 2015, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2015.01.048.
- [13] R. Manuabe, M. D. J. Sumajouw, and R. S. Windah, "KUAT TEKAN BETON GEOPOLYMER BERBAHAN DASAR ABU TERBANG (FLY ASH)," *Jurnal Sipil Statik*, vol. 2, no. 6, pp. 277–282, Sep. 2014.
- [14] A. E. Sucahyono and A. Perdana, "PELUNAKAN TEMPURUNG KELAPA DENGAN PROSES KIMIAWI UNTUK BAHAN BAKU KERAJINAN TANGAN," *Seminar Nasional Kimia dan Pendidikan Kimia XII*, pp. 128–135, 2019.