

ANALISIS PEMANFAATAN TEMPURUNG KELAPA SEBAGAI AGREGAT HALUS PADA BETON GEOPOLIMER BERBASIS *FLY ASH*

Ahmad Yudi^{1*}, Sephia Melanie Syahri², Kirtinanda P³, Ayu Sinta Aprilia⁴, Anggarani Budi Ribowo⁵

^{1,2,3,4,5} Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknologi Infrastruktur dan Kewilayahan, Institut Teknologi Sumatera

Jl. Terusan Ryacudu, Desa Way Huwi, Kecamatan Jati Agung, Lampung Selatan, 35363

*ahmad.yudi@si.itera.ac.id

ABSTRAK

Beton sebagai material konstruksi mengalami peningkatan permintaan dan pada daerah tertentu yang memiliki keterbatasan material untuk mendapatkan material seperti pasir dan semen. Untuk itu limbah tempurung kelapa dapat digunakan sebagai alternatif bahan material untuk campuran beton, karena produksi dari perkebunan kelapa nasional mencapai 2,85 juta ton lebih serta konsumsi kelapa terus meningkat tiap tahunnya. Selain itu dapat memanfaatkan abu terbang (*fly ash*) sebagai pengganti semen, yang merupakan limbah dari pembakaran batu bara. Tempurung kelapa dapat dimanfaatkan sebagai bahan tambah pada campuran beton dengan harapan menghasilkan beton yang memiliki kuat tekan yang diinginkan dengan cara tempurung kelapa yang sudah melalui pembakaran menjadi arang kemudian dihaluskan. Tujuan penelitian yaitu untuk mengetahui pengaruh tempurung kelapa sebagai agregat halus pada beton geopolimer berbasis abu terbang (*fly ash*). Metode penelitian pada penelitian ini yaitu eksperimental dalam data kuantitatif. Variasi substitusi tempurung kelapa sebagai agregat halus sebesar 0%, 3%, 5%, dan 7% dari berat agregat serta penggunaan alkali aktivator yaitu NaOH dan Na₂SiO₃ pada campuran beton geopolimer dengan perbandingan 1:2,5. Benda uji yang digunakan berbentuk silinder dengan ukuran diameter 100 mm dan tinggi 200 mm. Sampel pada tiap variasi berjumlah 3 sampel. Metode *curing* dilakukan dengan oven yang memiliki suhu sebesar 90°C dalam waktu 24 jam kemudian dengan suhu ruang dan pada umur beton 7 hari akan dilakukan pengujian kuat tekan. Hasil pengujian yang didapatkan yaitu nilai *slump* 0 mm pada tiap variasi, berat volume optimum didapatkan pada variasi 3% sebesar 2069,43 kg/m³ serta kuat tekan optimum pada variasi 0% sebesar 18,37 MPa.

Kata kunci: beton geopolimer, tempurung kelapa, agregat halus, abu terbang (*fly ash*)

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan yang berada di daerah tropis dengan produsen kelapa utama. Produksi dari perkebunan kelapa nasional mencapai 2,85 juta ton lebih. Kegiatan ekspor produksi kelapa ke berbagai negara mencapai 1,53 juta ton. Provinsi Lampung terdapat daerah penghasil perkebunan kelapa, salah satunya pada Kabupaten Pesawaran dengan produksi kelapa sebanyak kurang lebih 6640,39 ton (Badan Pusat Statistik, 2022). Perkebunan kelapa di Kabupaten Pesawaran tersebut memiliki luas lahan sekiranya kurang lebih sebesar 11.238 Ha, dimana luasnya lahan tersebut termasuk golongan yang cukup luas.

Produksi serta konsumsi kelapa yang terjadi secara terus menerus mengakibatkan jumlah limbah kelapa meningkat. Limbah yang didapatkan salah satunya adalah tempurung kelapa yang merupakan limbah organik. Sebagian petani memanfaatkan limbah tersebut sebagai bahan bakar pembuatan briket, dimana tempurung kelapa tersebut diolah menjadi arang dengan proses karbonisasi (Zaenul Amin, 2017). Akan tetapi, dengan jumlah limbah yang cukup banyak, tidak memungkinkan untuk mengolahnya menggunakan cara yang sama karena limbah tersebut akan meningkat tiap tahunnya. Perlu untuk memanfaatkannya dengan cara lain, salah satunya pemanfaatan tempurung kelapa dalam bidang konstruksi.

Seiring berjalannya waktu, beton mengalami peningkatan permintaan dan pada daerah tertentu memiliki keterbatasan material untuk mendapatkan material pembuatan beton. Keterbatasan material penyusun beton di antaranya pasir dan semen. Sebagai gantinya banyak yang menggunakan alternatif pasir pantai, tetapi pasir pantai juga memiliki kekurangan seperti menimbulkan korosi pada tulangan. Sifat pasir yang sangat berpengaruh pada pembuatan beton yaitu tingkat kerasnya suatu butiran pasir serta ukuran maksimum untuk campuran beton yang sesuai (Hadi, 2020). Kemudian alternatif lainnya dapat membuat suatu beton geopolimer tanpa campuran semen portland sebagai pengikat, melainkan dengan *fly ash* serta alkali aktivator yang terdiri dari Na_2SiO_3 dan NaOH . Abu terbang merupakan limbah industri, sehingga jika dibuang pada tempat yang kurang layak akan mengakibatkan pencemaran karena mengandung zat-zat yang kurang baik, untuk mengatasinya *fly ash* dapat dimanfaatkan untuk pembuatan beton geopolimer, dengan pengganti keseluruhan material yang biasanya digunakan pada beton normal yaitu semen portland, untuk pembuatan beton geopolimer.

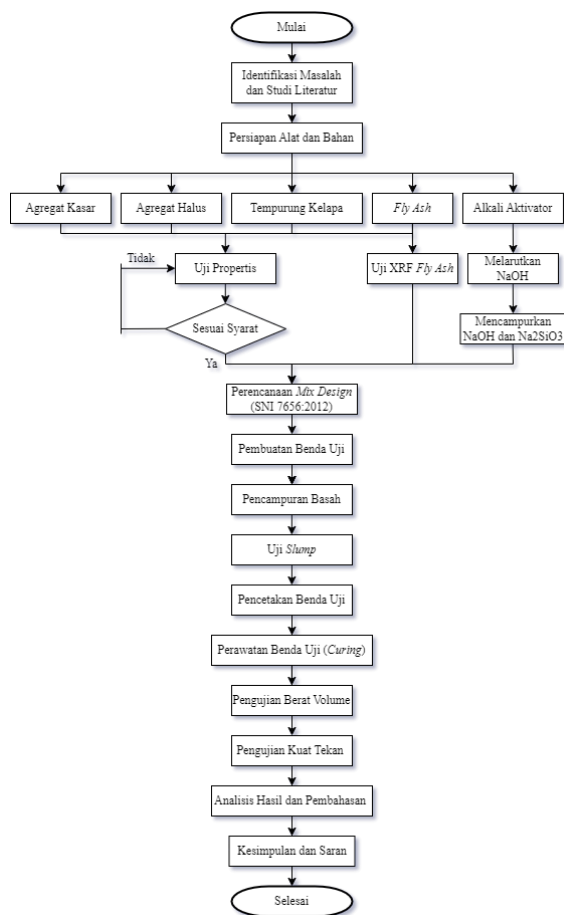
Menurut penelitian (Ilyas et al, 2022) terhadap beton geopolimer, dimana pada umumnya menggunakan *fly ash* yang menganalisis hasil kuat tekan yang didapatkan. Didapatkan kuat tekan terbesar pada perbandingan SS/SH sebesar 2,5 mendapatkan nilai 10,13 MPa. Penelitian selanjutnya dilakukan oleh (Ashad et al, 2023), menganalisis besarnya kuat tekan menggunakan *fly ash* dan alkali aktivator. Perbandingan berat yang didapatkan pada tiap formulasi penyusun beton untuk perencanaan campuran beton menggunakan faktor w/fa dengan nilai 0,25. Hasil pada variasi 1/2 mendapatkan nilai 6,997 MPa dan untuk variasi 2/2 mendapatkan nilai 15,691 MPa, dengan nilainya yang rendah maka tidak sesuai untuk beton struktural. Hasil pada variasi 3/2 mendapatkan nilai 30,746 dan 5/2 mendapatkan nilai 23,537 MPa, dengan nilai kuat tekan

tersebut dapat digunakan sebagai alternatif penggunaan beton konvensional.

Penelitian yang dilakukan oleh (Artika et al, 2021), menganalisis adanya pengaruh kuat tekan beton terhadap arang tempurung kelapa pada variasi 10% dan 15% sebagai substitusi agregat halus. Hasil dari penelitian ini memperoleh nilai yang didapat sebesar 16,6 MPa dengan umur beton 28 hari untuk beton normal. Kemudian saat arang tempurung kelapa ditambahkan, mengalami penurunan pada variasi 10% dengan didapatkan sebesar 12,27 MPa dan variasi 15% kuat tekannya sebesar 11,89 MPa. Menurut (Riyanto et al, 2018), didapatkan beton setelah adanya campuran arang tempurung kelapa dengan persentase variasi 7,5%, 10%, dan 12,5% dari agregat halus. Hasil penelitian sebesar 314,45 kg/cm^2 pada beton normal. Kemudian untuk didapatkan kuat tekan dengan nilai 340,08 kg/cm^2 untuk variasi sebesar 7,5%. Kemudian pada nilai 332,78 kg/cm^2 didapatkan pada variasi 10%, dan untuk nilai sebesar 305,08 kg/cm^2 didapatkan pada variasi 12,5%. Nilai tersebut mengalami penurunan sebesar 27,07 kg/cm^2 pada persentase 12,5% dari kuat tekan beton normal. Adanya penurunan tersebut maka disarankan pada penggunaan substitusi arang batok kelapa menggunakan variasi <10%, karena penurunan dapat terjadi dengan variasi 10% keatas.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Struktur Program Studi Teknik Sipil, Gedung Laboratorium Teknik 1, Institut Teknologi Sumatera. Jenis penelitian yang digunakan penelitian kuantitatif metode percobaan eksperimental. Pengumpulan data dilakukan melalui studi literatur, dengan mengumpulkan beberapa sumber yang didapatkan dari penelitian terdahulu serta berhubungan dengan topik penelitian, berikut diagram alir penelitian:



Gambar 1. Diagram Penelitian

Alat dan Bahan

Adapun alat yang digunakan pada penelitian yaitu:

1. Cetakan beton silinder diameter 100 mm dan tinggi 200 mm
2. Botol *Le Chatelier*, untuk pengujian berat jenis *fly ash*.
3. Gelas ukur (kapasitas 1000 ml), untuk pengujian kadar lumpur dengan metode pengendapan.
4. *Helliege Tester*, untuk mengetahui kadar zat organik agregat halus.
5. Kontainer
6. Mesin *mix concrete*
7. Satu set alat *slump test*, terdiri dari batang penumbuk, mistar perata, dan kerucut *abrams*.
8. Piknometer (kapasitas 500 ml), untuk mengetahui penyerpan dan berat jenis dari agregat halus.

9. Satu set saringan, untuk menentukan gradasi agregat layak digunakan pada agregat kasar maupun agregat halus.

10. Berikut Timbangan (ketelitian 20 gram dan 0,01 gram)

11. Oven

12. *Compression Testing Machine* (CTM)

Bahan yang digunakan pada penelitian ini:

1. Agregat Kasar, ukuran maksimum 19 mm.
2. Agregat Halus, ukuran dengan diameter kurang dari 5mm dan lolos saringan no.4 dan tertahan pada saringan no.200.
3. *Fly ash*, didapatkan dari PT. Bukit Asam Unit Pelabuhan Tarahan.
4. Air, menjaga konsistensi *workability* beton dengan rasio molar yang sesuai.
5. Tempurung kelapa yang sudah melalui pembakaran dengan variasi 3%, 5%, dan 7%.
6. NaOH, akan dilarutkan dengan molaritas 14M.
7. Na_2SiO_3 (Natrium Silikat), berbentuk larutan *waterglass* kemudian akan dicampur dengan NaOH dengan perbandingan 1 : 2,5.
8. *Superplasticizer*, menggunakan jenis *admixture* tipe F, Sika Visconcrete 3115N.

Pembuatan Agregat Halus Tempurung Kelapa

Adapun tahapan pembuatan agregat halus menggunakan tempurung kelapa sebagai berikut:

1. Menyiapkan tempurung kelapa yang akan digunakan, yang sebelumnya sudah dilakukan pembakaran menjadi arang.
2. Menghancurkan tempurung kelapa yang akan digunakan dengan cara ditumbuk, sampai menghasilkan butiran yang diinginkan.
3. Melakukan penyaringan tempurung kelapa yang telah dihaluskan sesuai nomor saringan yang digunakan.

Variasi Campuran

Penelitian yang dilakukan menggunakan beberapa variasi campuran tempurung kelapa sebagai agregat halus, yaitu sebagai berikut:

Tabel 1. Variasi Campuran Beton

Kode	Jumlah Benda Uji	Variasi	Jumlah Sampel
GN	3	0%	3
GATK 1	3	3%	3
GATK 2	3	5%	3
GATK 3	3	7%	3
Total			12

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Material

Sebelum melakukan pecampuran beton, dilakukan pengujian material yang akan digunakan sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil Pengujian Material Agregat Halus

No	Jenis Pengujian	Hasil	Syarat	Keterangan
1	Kadar air	1,21 %	< 5%	Memenuhi
2	Kadar lumpur (metode pengendapan)	2,95%	< 5%	Memenuhi
3	Kadar lumpur (metode pencucian)	4,60%	< 5%	Memenuhi
4	Penyerapan pada berat jenis	1,626 %	0,2-2%	Memenuhi
5	Berat volume	1428,8 kg/m ³	1400-1900 kg/m ³	Memenuhi
6	Modulus kehalusan dari analisis saringan	2,590	1,5 – 3,8	Memenuhi
7	Kadar organik	no. 2	< no. 3	Memenuhi

Tabel 3. Hasil Pengujian Agregat Kasar

No	Jenis Pengujian	Hasil	Syarat	Keterangan
1	Kadar air	1,42 %	0,5% - 2,0%	Memenuhi
2	Penyerapan pada berat jenis	2,808%	maks. 5%	Memenuhi
3	Berat volume lepas	1346,207 kg/m ³	< 5%	Memenuhi
4	Berat volume padat	1461,994 kg/m ³	1600 – 1900 kg/m ³	Memenuhi
5	Keausan	19,02%	< 40%	Memenuhi
6	Modulus kehalusan dari analisis saringan	6,532	6-7,1	Memenuhi

Tabel 4. Hasil Pengujian XRF *Fly Ash*

Oxides		
Cone	Compound	Cone
MgO	1,704	%
Al ₂ O ₃	21,276	%
SiO ₂	45,226	%
P ₂ O ₅	0,877	%
SO ₃	3,769	%

Oxides		
Cone	Cone	Cone
K ₂ O	1,211	%
CaO	9,858	%
TiO ₂	1,847	%
V ₂ O	325,1	ppm
Cr ₂ O ₃	55,9	ppm
MnO	0,188	%
Fe ₂ O ₃	13,902	%
NiO	88,9	ppm
CuO	87,2	ppm
ZnO	376,8	ppm
Ga ₂ O ₃	92,4	ppm
Br	16,7	ppm
Bao	382,4	ppm

Fly ash memiliki senyawa kimiawi yang diantaranya SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, kadar CaO, dan kadar karbon. Untuk mengetahui klasifikasi kelas *fly ash* yang akan digunakan sebagai berikut:

- CaO = 9,858% (dimana syaratnya <10%)
- SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ = 45,226% + 21,276% + 13,902% = 80,404% (dimana syaratnya >70%)
- SO₃ = 3,769% (dimana syaratnya <5%)

Pada hasil analisis diatas dapat disimpulkan *fly ash* (abu terbang) yang digunakan, merupakan *fly ash* kelas F. Sehingga *fly ash* dapat digunakan untuk pengganti ataupun bahan tambah.

Tabel 5. Hasil Uji Berat Jenis *Fly Ash*

No	Jenis Pengujian	Hasil	Syarat	Keterangan
1	Berat jenis	2,34 %	< 3,2%	Memenuhi

Tabel 6. Hasil Uji Material Tempurung Kelapa

No	Jenis Pengujian	Hasil	Syarat	Keterangan
1	Berat Volume	543,355	1400-1900 kg/m ³	Tidak Memenuhi

Berdasarkan hasil pengujian, dapat disimpulkan bahwa agregat kasar, agregat halus, *fly ash*, dapat digunakan. Pada pengujian berat volume tempurung kelapa penelitian yang dilakukan oleh (Sandy Syamsuddin et al, 2023) didapatkan hasil 0,56 kg/liter. Sama hal nya pada penelitian ini, tempurung kelapa pada penelitian ini sebagai substitusi agregat halus maka dapat digunakan.

Mix Design

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan, didapatkan nilai pada perancangan campuran (*mix design*) beton per 1 m³ pada Tabel. 7

Tabel 7. Perencanaan Campuran Beton per 1 m³

No	Keterangan	Nilai (kg/m ³)
1	Abu Terbang (<i>fly ash</i>)	380
2	NaOH	58,994
3	Na ₂ SiO ₃	147,485
4	Agregat Kasar	952,640
5	Agregat Halus	845,847
6	<i>Superplasticizer</i>	7,6

Setelah mendapatkan kebutuhan material campuran beton per 1, adapun kebutuhan material seluruh sampel yang berjumlah 12 sampel pada Tabel. 8

Tabel 8. Perencanaan Campuran Beton per 1 m³

No	Keterangan	Nilai (kg)
1	Abu Terbang (<i>fly ash</i>)	8,581
2	NaOH	1,334
3	Na ₂ SiO ₃	3,334
4	Agregat Kasar	21,537
5	Agregat Halus	19,123
6	<i>Superplasticizer</i>	0,717

Untuk kebutuhan tempurung kelapa pada tiap variasi didapatkan dengan mengalikan berat agregat halus per silinder dengan variasi tempurung kelapa yang digunakan, kemudian untuk mengetahui agregat halus yang digunakan pada suatu variasi dengan mengurangi berat agregat halus per silinder dengan berat variasi tempurung kelapa sebelumnya. Adapun kebutuhan material tempurung kelapa sebagai substitusi agregat halus pada Tabel. 11

Tabel 9. Rekapitulasi Campuran Beton

No	Keterangan	Variasi Tempurung Kelapa			
		0%	3%	5%	7%
1	Abu Terbang (<i>fly ash</i>)	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
4	Agregat Kasar	5,384	5,384	5,384	5,384
5	Agregat Halus	4,781	4,637	4,542	4,446
6	Tempurung Kelapa	0,000	0,143	0,239	0,335
7	<i>Superplasticizer</i>	0,043	0,043	0,043	0,043

Hasil Nilai Slump

Setelah proses pencampuran beton, selanjutnya melakukan uji *slump* dengan hasil yang didapatkan pada Tabel. 9

Tabel 9. Rekapitulasi Campuran Beton

No	Kode	Nilai Slump (mm)
1	GN (0%)	0
2	GATK1 (3%)	0
3	GATK2 (5%)	0
4	GATK3 (7%)	0

Berdasarkan penelitian hasil rata – rata yang didapatkan pada pengujian *slump* untuk beton geopolimer sebesar 0 mm. Menurut (Jaya Ekaputri et al, 2007), penelitian yang dilakukannya mendapatkan nilai *slump* sebesar 0, sehingga beton geopolimer memiliki tingkat kesulitan yang cukup tinggi pada tahapan pencetak atau tidak *workability*. Sama halnya pada penelitian ini, hasil campuran beton tidak *workability*, mengakibatkan campuran beton sulit untuk dicetak dan proses pemadatan cukup memakan waktu karena perlu untuk memadatkannya dengan bantuan palu karet hingga campuran beton geopolimer padat merata.

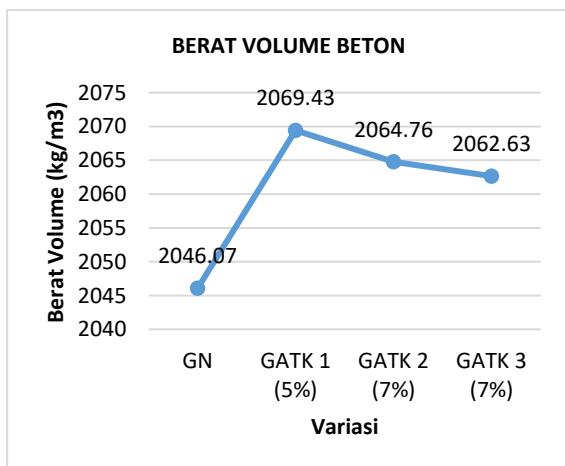
Hasil Nilai Berat Volume

Pengujian berat volume dilakukan pada substitusi agregat halus dengan tempurung kelapa dengan menggunakan variasi 3%, 5%, dan 7% dengan umur rencana 7 hari berjumlah 12 sampel. Adapun hasil dari pengujian berat volume pada Tabel. 10

Tabel 10. Hasil Pengujian Berat Volume

Kode	Massa Benda Uji (kg)	Berat Volume (Kg/m ³)	Rata-Raya (kg/m ³)
GN	3,236	2061,15	2046,07
	3,22	2050,96	
	3,181	2026,11	
GATK 1 (3%)	3,223	2052,87	2069,43
	3,325	2117,83	
	3,199	2037,58	
GATK 1 (5%)	3,229	2056,69	2064,76
	3,246	2067,52	
	3,25	2070,06	
GATK 1 (7%)	3,213	2046,50	2062,63
	3,209	2043,95	
	3,293	2097,45	

Berdasarkan data yang didapatkan, beton geopolimer variasi 0% memiliki nilai berat volume lebih rendah dibandingkan oleh variasi lainnya. Rata – rata berat volume tertinggi yaitu pada beton dengan variasi 3% sedangkan pada variasi 7% nilai rata – rata berat volume jauh lebih rendah dibandingkan variasi 3% dan 5%, namun lebih tinggi dari nilai rata – rata berat volume variasi 0%. Berat volume yang telah didapatkan yaitu sebesar $2046,07 \text{ kg/m}^3$ – $2062,63 \text{ kg/m}^3$, yang dimana termasuk dalam jenis beton normal sesuai pengujian oleh (Manuahe, et al., 2014). Berat volume tersebut dipengaruhi dari bahan penyusun maupun berat jenis. Penggunaan *fly ash* pada pengujian ini menggunakan 100% *fly ash*, dan didapatkan berat jenisnya sebesar $2,34 \text{ gr/cm}^3$ lebih rendah dibandingkan dengan berat jenis semen sebesar $3,15 \text{ gr/cm}^3$, sehingga berat volume yang didapatkan lebih rendah jika dibandingkan berat volume beton konvensional sekitar 2400 kg/m^3 . Berdasarkan hasil uji berat volume yang dilakukan menunjukkan dengan tambahan tempurung kelapa dapat mempengaruhi berat volume beton dengan besarnya tiap variasi, didapatkan beton yang semakin berat. Berikut merupakan grafik hubungan antara variasi tempurung kelapa dengan berat volume yang didapatkan pada Gambar. 2



Gambar 2. Grafik Berat Volume Beton

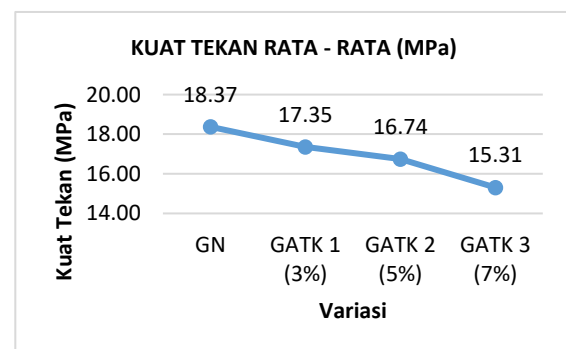
Hasil Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan dilakukan pada beton geopolimer tanpa variasi dan beton geopolimer dengan variasi substitusi agregat halus menggunakan tempurung kelapa sebesar 3%, 5%, dan 7% serta umur rencana tiap variasi 7 hari. Pengujian dengan alat *Compressing Testing Machine* (CTM), nantinya akan diberikan beban hingga mencapai beban yang maksimum dengan terlihat secara visual benda uji tersebut mengalami retak. Adapun hasil dari pengujian kuat tekan dengan umur 7 hari pada Tabel. 11

Tabel 11. Hasil Pengujian Kuat Tekan

Kode	P (kN)	Kuat Tekan (MPa)	Rata-Raya (MPa)
GN	150	18,37	18,37
	145	17,76	
	155	18,99	
GATK 1 (3%)	145	17,76	17,35
	140	17,15	
	140	17,15	
GATK 1 (5%)	140	17,15	16,74
	135	16,54	
	135	16,54	
GATK 1 (7%)	120	14,70	15,31
	130	15,92	
	125	15,31	

Berdasarkan hasil pengujian, didapatkan data bahwa kuat tekan yang tertinggi dengan umur rencana 7 hari didapatkan pada beton tanpa variasi dengan nilai 18,37 MPa. Untuk nilai kuat tekan beton geopolimer terendah didapatkan pada beton yang memiliki variasi 7% yaitu sebesar 15,31 MPa. Adapun grafik kuat tekan dengan hubungan variasi tempurung kelapa yang telah didapatkan pada Gambar. 3



Gambar 3. Grafik Kuat Tekan Beton

Berdasarkan hasil kuat tekan yang didapatkan, dapat disimpulkan substitusi tempurung kelapa sebagai agregat halus mempengaruhi hasil nilai kuat tekan beton. Penggunaan variasi substitusi tempurung kelapa sebagai substitusi agregat halus pada beton geopolimer berbasis abu terbang (*fly ash*) sebesar 3%, 5%, dan 7%, dimana variasi tersebut cukup tinggi dan menghasilkan kuat tekan beton yang rendah. Hal ini disebabkan pemakaian abu terbang (*fly ash*) yang memiliki nilai kandungan senyawa karbon (CaO) sebesar 9,858%, dimana lebih baik untuk menggunakan abu terbang (*fly ash*) dengan kandungan senyawa karbon yang rendah serta kandungan Si dan Al lebih dari 50% (Nugroho, et al., 2022). Penyebab lainnya tidak dilakukannya pengujian reaktivitas silika pada abu terbang (*fly ash*) yang bertujuan untuk dapat mengetahui silika yang reaktif maupun non reaktif, hal ini memungkinkan terbentuknya reaksi polimerisasi yang optimal, serta bahan substitusi tempurung kelapa dapat menyerap air dengan cepat serta nilai kuat tekan beton menurun (Isti Makrifa, 2022).

Analisis Statistik

Analysis Of Variance (ANOVA) merupakan metode statistik menguji perbedaan rata – rata dari dua maupun lebih kelompok atau perlakuan yang berbeda. Pengujian dilakukan dengan ANOVA satu arah, karena akan mengukur perbedaan hasil pengujian kuat tekan beton dengan variasi substitusi tempurung kelapa sebagai agregat halus. 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 12. *Analysis Of Variance*

Sumber Variansi	df	JK	RK	F_{hitung}	F_{tabel}
Perlakuan	3	14,753	4,918		
Galat (error)	8	2	0,250	19,667	4,066
Total	11	16,754	-		

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 tempurung kelapa

sebagai substitusi agregat halus. 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 13.

Tabel 13. *Tukey Method*

Sampel	Selisih Data	Ti	Kesimpulan
(1, 2)	1,021	0,654	Berbeda, Signifikan
(1, 3)	1,633	0,654	Berbeda, Signifikan
(1, 4)	3,062	0,654	Berbeda, Signifikan
(2, 3)	0,612	0,654	Berbeda, Tidak Signifikan
(2, 4)	2,041	0,654	Berbeda, Signifikan
(3, 4)	1,429	0,654	Berbeda, Signifikan

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, data pada tabel menunjukkan adanya perbandingan antara selisih sampel dan nilai Ti. Pada sampel 2 dan 3 (variasi 3% dan 5%) terdapat perbedaan yang tidak signifikan, sedangkan pada sampel 1 dan 4 memiliki rata – rata berbeda signifikan, sehingga dapat disimpulkan untuk data pada pengaruh kuat antara nilai kuat tekan mendapatkan hasil yang berbeda secara signifikan pada variasi 0% dan 7% substitusi tempurung kelapa sebagai agregat halus.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan pada penelitian yang dilakukan sebagai berikut:

1. Hasil pengujian kuat tekan beton geopolimer dengan substitusi tempurung kelapa sebagai agregat halus umur 7 hari mendapatkan nilai kuat tekan berturut – turut pada variasi 0%; 3%; 5%; dan 7% sebesar 18,37 MPa, 17,35 MPa, 16,74 MPa, dan 15,31 MPa. Hasil kuat tekan tertinggi yaitu sebesar 18,37 MPa pada variasi 0%, atau keadaan beton tanpa substitusi tempurung kelapa sebagai agregat halus. Hasil tersebut termasuk

sebagai beton dengan kekuatan rendah atau beton non-struktural.

2. Hasil pengujian berat volume yang didapatkan pada beton geopolimer dengan substitusi tempurung kelapa sebagai agregat halus dengan hasil berturut-turut pada variasi 0%, 3%, 4%, dan 5% yaitu 2046,07 kg/m³; 2069,43 kg/m³; 2064,76 kg/m³; dan 2062,63 kg/m³. Rendahnya berat volume disebabkan dari *fly ash* yang memiliki berat jenis lebih rendah dengan nilai 2,34 gr/cm³ dibandingkan dengan berat jenis semen dengan nilai 3,15 gr/cm³, sehingga berat volume didapat lebih rendah dibandingkan berat volume beton konvensional sekitar sebesar 2400 kg/m³. Kemudian kepadatan beton yang kurang padat, didukung dengan nilai *slump* 0 yang didapatkan pada penelitian.
3. Hasil pengujian *slump* yang didapatkan pada beton geopolimer dengan substitusi tempurung kelapa sebagai agregat halus pada variasi 0%, 3%, 5%, dan 7% yaitu sebesar 0 mm untuk semua variasi. Hal tersebut menyebabkan beton geopolimer tidak lecek sehingga campuran tidak mudah untuk dicetak.
4. Hasil analisis *analysis of variance* (ANOVA) satu arah yaitu $F_{hitung} > F_{tabel}$ (19,667 > 4,066), sehingga adanya pengaruh antara nilai kuat tekan yang didapatkan terhadap substitusi tempurung kelapa sebagai agregat halus. Pengujian selanjutnya yaitu uji metode *tukey*, didapatkan sampel 2 dan 3 (variasi 3% dan 5%) adanya perbedaan tidak signifikan dan pada sampel 1 dan 4 terdapat perberbedaan yang signifikan, sehingga dapat disimpulkan variasi 1% dan 5% terdapat pengaruh kuat antara nilai kuat tekan berbeda secara signifikan pada variasi 0% dan 7% substitusi tempurung kelapa sebagai agregat halus

5. DAFTAR PUSTAKA

- Artika1, Atik, and Febrimen Herista3. 2021. "ANALISIS SUBSTITUSI ARANG TEMPURUNG KELAPA PADA AGGREGAT HALUS TERHADAP KUAT TEKAN BETON MUTU F'C 16,6 MPA." *Ensiklopedia Research and Community Service Review* 1.
- Ashad, Hanafi, Muhammad Rezky Putra, and Toni Utina. 2023. "Studi Karakteristik Kuat Tekan Beton Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash." *Jurnal Teknik Sipil* 30(3):379–84. doi: 10.5614/jts.2023.30.3.6.
- Hadi, Surya. 2020. *ANALISIS JENIS PASIR TERHADAP KUAT TEKAN BETON*. Vol. 3.
- Ilyas, Yussy Afrilia, Gusneli Yanti, and Lusi Dwi Putri. 2022. "Studi Beton Geopolimer Dengan Bahan Dasar Fly Ash Terhadap Kuat Tekan Beton." *Jurnal Rekayasa Konstruksi Mekanika Sipil (JRKMS)* 5(2):83–92. doi: 10.54367/jrkms.v5i2.2096.
- Isti Makrifa, Auliya. n.d. "Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Fakultas Teknik ANALISA KUAT TEKAN BETON DENGAN PENAMBAHAN SERBUK HALUS ARANG BATOK KELAPA."
- Jaya Ekaputri, Januarti, Triwulan, and Oktavina Damayanti. 2007. "SIFAT MEKANIK BETON GEOPOLIMER BERBAHAN DASAR FLY ASH JAWA POWER PAITON SEBAGAI MATERIAL ALTERNATIF." *Jurnal PONDASI* 13.
- Manuahe, Riger, Marthin D. J. Sumajouw, and Reky S. Windah. 2014. "KUAT TEKAN BETON GEOPOLYMER BERBAHAN DASAR ABU TERBANG (FLY ASH)." *Jurnal Sipil Statik* 2(6):277–82.
- Nugroho, Soewignjo Agus, Syawal Satibi, and Raflyatullah Raflyatullah. 2022. "Pengaruh Penggunaan Semen Dan Fly Ash Terhadap Nilai CBR Tanah Lempung Muara Fajar." *Jurnal Rekayasa Sipil (JRS-Unand)* 17(3):267. doi: 10.25077/jrs.17.3.267-278.2021.
- Riyanto, Dodi, Hendra Cahyadi, Rida Respati, Alumni, Fak Teknik Um, and Palangka Raya. 2018. *Rida (3) Media Ilmiah Teknik Sipil*. Vol. 6.

Sandy Syamsuddin, Muhammad, and Muhammad Jabir. 2023. "PERBANDINGAN UJI KUAT TEKAN BETON K-200 DAN SUBSTITUSI SERBUK TEMPURUNG KELAPA TERHADAP BETON NORMAL." *JURNAL KARAJATA ENGINEERING* 3(2):2775–5266. doi: 10.30737/jurmateks.v4i1.1641.

Zaenul Amin, Ahmad. n.d. *PENGARUH VARIASI JUMLAH PEREKAT TEPUNG TAPIOKA TERHADAP KARAKTERISTIK BRIKET ARANG TEMPURUNG KELAPA*.

Badan Pusat Statistik. (2022). *BPS Pesawaran*. Retrieved from <https://pesawarankab.bps.go.id/id/statistics-table/2/MjEzIzI=/produksi-perkebunan-menurut-jenis-tanaman-di-kabupaten-pesawaran.html>