



Pemanfaatan Limbah Cangkang Kerang dan Cangkang Telur pada Beton Geopolimer

Imran

Politeknik Negeri Fakfak

Aqilah Attamimi

Politeknik Negeri Fakfak

Alamat: Jalan TPA Imam Bonjol Atas, Air Merah, Kelurahan Wagom, PO BOX 98612

Kabupaten Fakfak Provinsi Papua Barat

Korespondensi penulis: imran@polinef.id

Abstract. *Alternative materials are almost always found in the surrounding nature, therefore innovation in the development of concrete mixture composition must continue to be improved. Natural local materials that are prioritized as a substitute for cement have geopolimer material content and contain silica (Si) and alumina (Al) elements. Clam shells are a new phenomenon in several sea sand quarries in Fakfak Regency. If the shell waste is not utilized, it will only create useless piles, as is the case with chicken egg shells, even though this waste has the potential to replace lime in making cement. This study aims to determine the characteristics of the material (clam shell waste, chicken egg shells and sand), and to determine the compressive strength produced in variations in the use of 50% LCK + 50% LCTA, 80% LCK + 20% LCTA and 100% LCTA. The results obtained in this study indicate that clam shells can be used as a component of geopolimer concrete because they have basic elements found in geopolimer materials in the form of SiO₂, CaO, Al₂O₃, and MgO. Meanwhile, in chicken egg shells, the dominant element is only CaO. The dominant variation of shellfish shells using a combination of 80% LCK + 20% LCTA variations has the highest compressive strength value compared to other variations of 14.29 MPa at the age of 28 days, while the variation of 100% chicken egg shells only gets a compressive strength result of 2.20 MPa (age 28 days).*

Keywords: *Compressive strength, clam shells, chicken egg shells, geopolimer concrete.*

Abstrak. Material alternatif hampir setiap saat ditemui di alam sekitar, oleh karena itu inovasi pengembangan penyusunan bahan campuran beton harus terus ditingkatkan. Material lokal alami yang diutamakan sebagai pengganti semen yaitu mempunyai kandungan material geopololimer dan mengandung unsur silika (Si) dan alumina (Al). Cangkang kerang menjadi fenomena baru pada beberapa quarry pasir laut yang ada di Kabupaten Fakfak. Jika limbah cangkang kerang tersebut tidak dimanfaatkan, maka hanya menimbulkan tumpukan yang tidak berguna, demikian halnya cangkang telur ayam, padahal limbah tersebut berpotensi sebagai pengganti kapur dalam pembuatan semen. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik material (limbah cangkang kerang, cangkang telur ayam dan pasir), dan mengetahui kuat tekan yang dihasilkan pada variasi penggunaan 50%LCK+50%LCTA, 80%LCK+20%LCTA dan

Submission September 11, 2024; Revised November 20, 2024; Accepted Desember 03, 2024

*Corresponding author, imran@polinef.id

100% LCTA. Hasil yang diperoleh dalam penelitian ini menunjukkan menunjukkan jika cangkang kerang dapat digunakan sebagai bahan penyusun beton geopolimer karena mempunyai unsur dasar yang ada pada bahan geopolimer berupa SiO_2 , CaO , Al_2O_3 , Al_2O_3 , dan MgO . Sementara pada pada cangkang telur ayam, unsur dominannya hanya pada unsur CaO . Variasi dominan cangkang kerang menggunakan kombinasi variasi 80%LCK+20%LCTA mempunyai nilai kuat tekan tertinggi dibanding variasi lain sebesar 14,29 MPa pada umur 28 hari , sedangkan variasi 100% cangkang telur ayam hanya mendapatkan hasil kuat tekan senilai 2,20 MPa (umur 28 hari).

Kata kunci: Kuat tekan, cangkang kerang, cangkang telur ayam, beton geopolimer.

LATAR BELAKANG

Salah satu bahan konstruksi yang sangat vital dan ketergantungan penggunaannya sangat tinggi pada campuran mortar adalah semen. Selama proses produksi, semen dapat memberikan dampak buruk terhadap lingkungan karena melepas karbon dioksida ke atmosfer dalam jumlah besar (Rangan, 2019). Dalam rangka mengurangi emisi CO_2 akibat penggunaan semen, maka perlu adanya material alternatif yang dapat mengganti fungsi semen sebagai bahan pengikat mortar.

Material alternatif hampir setiap saat ditemui di alam sekitar, oleh karena itu inovasi pengembangan penyusunan bahan campuran beton harus terus ditingkatkan. Material alami yang diutamakan sebagai pengganti semen adalah material yang mempunyai kandungan oksida silika dan alumina tinggi (Davidovits, 1994). Bahan dasar yang digunakan untuk pembuatan material geopolimer adalah bahan-bahan yang mengandung unsur silika (Si) dan alumina (Al) (Kusuma, 2021).

Beton geopolimer adalah beton yang material utamanya mengandung bahan yang bersifat pozzolan. Pozzolan adalah bahan yang mengandung senyawa silika dan alumina. Dengan bentuknya yang halus, pozzolan dapat direaksikan dengan alkali aktivator (Erwan 2019). Aktivator yang biasa digunakan adalah natrium hidroksida (NaOH) dan dan sodium silikat (Na_2SiO_3) dengan perbandingan antara 70% : 30% dari berat semen (Syafutra, 2018). Material alternatif pengganti semen sebagai bahan pengikat dalam beton geopolimer biasanya menggunakan abu terbang (*fly ash*), abu sekam padi (*risk husk ash*), ampas tebu, cangkang telur dan lain – lain yang banyak mengandung silika dan aluminium (Salwatul, 2017)

Cangkang kerang merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari pasir laut, karena potensi pasir laut cukup besar di Kabupaten Fakfak (Imran, 2017). Limbah

cangkang kerang dari pasir laut tersebut menjadi sesuatu yang tidak berguna jika tidak dimanfaatkan. Cangkang kerang mengandung senyawa kimia yang bersifat pozzolan, yaitu zat kapur (CaO), alumina dan senyawa silika sehingga berpotensi untuk digunakan sebagai bahan alternatif penyusun campuran beton (Siregar, 2009). Demikian halnya cangkang telur ayam maupun telur bebek yang menjadi limbah *useless* apabila potensinya tidak dimanfaatkan sebagai bahan alternatif penyusun campuran beton. Cangkang telur jika dibuat dalam bentuk tepung mengandung senyawa kapur (CaO), silika (SiO₂) dan magnesium (MgO) (Santoso, 2015).

KAJIAN TEORITIS

Salah satu bagian yang tidak bisa dipisahkan dari pasir laut adalah cangkang kerang. Limbah kulit kerang berpotensi sebagai pengganti kapur dalam pembuatan semen karena komposisi limbah yang telah mengalami pembakaran dengan suhu 700°C menghasilkan CaO sebesar 55,10% (Syafpotri, 2013). Selain itu, unsur kimia yang lain berupa silika sebesar 7,88% menunjukkan bahwa limbah cangkang kerang memiliki potensi besar sebagai bahan geopolimer (Maryam, 2006). Hasil yang diperoleh Restu, 2013 dalam penelitiannya mempertegas bahwa komposisi 100% serbuk kerang memiliki *workability* yang cukup baik, *setting time* yang cepat disebabkan karena kadar CaO yang tinggi serta kuat tekan meningkat terhadap umur tetapi masih di bawah rendah dan berlaku sebaliknya pada komposisi 100% fly ash. Sedangkan komposisi 50% fly ash+50% serbuk kerang cukup efektif untuk binder geopolimer dan dapat meminimalisir penggunaan *fly ash*.

Telur sebagai bahan makanan dikonsumsi sebanyak 2,448 kg per orang per minggu (Annur, 2022). Hal ini tentu berbanding lurus dengan limbah cangkang telur yang dihasilkan. Oleh karena itu potensi limbahnya perlu diperhatikan agar bisa dimanfaatkan. Penelitian yang dilakukan Anastasia, 2020 memperlihatkan adanya potensi yang dimiliki abu cangkang telur bebek sebagai material geopolimer karena memiliki zat kapur (kalsium oksida CaO 60,52%) dan (sulfur dioksida SO₂ 0,44%). Hal ini mendukung jika cangkang telur sangat memungkinkan digunakan karena memiliki kandungan yang dibutuhkan sebagai penyusun geopolimer. Penelitian beton geopolimer dari bahan limbah cangkang telur bebek yang dilakukan (Pramadanatra, 2015) menunjukkan adanya kenaikan kuat tekan beton dengan kandungan tepung cangkang

telur bebek 90% sebesar 20,58 MPa dan diperkirakan masih bisa mengalami kenaikan kuat tekan apabila ditambahkan variasi campuran lebih dari 90%.

Selain itu, penelitian serupa yang dilakukan Pohan, 2022 yang menggunakan cangkang telur ayam menghasilkan nilai kuat tekan beton optimum sebesar 23,19 MPa pada persentase 2,5% terhadap semen dan hasil ini menegaskan bahwa cangkang telur ayam bisa digunakan untuk membuat beton yang ramah lingkungan khususnya beton geopolimer .

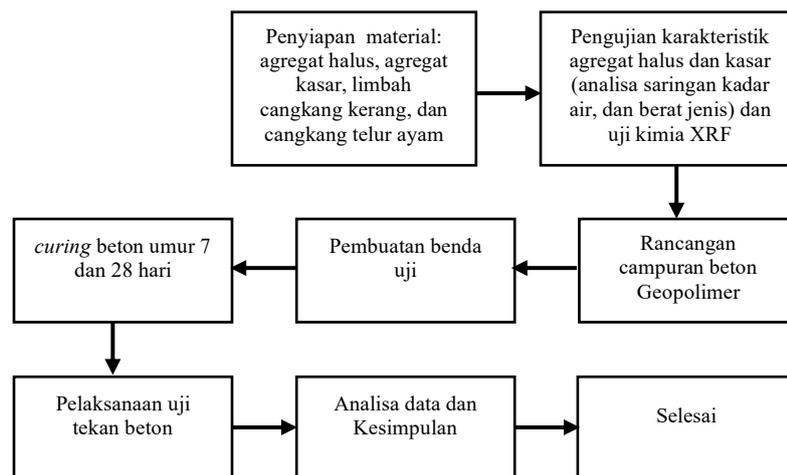
METODE PENELITIAN

Jenis Penelitian

Penelitian ini bersifat eksperimen dengan melakukan uji laboratorium untuk menghasilkan data.

Bagan Alir Penelitian

Sebagai gambaran pelaksanaan kegiatan dalam penelitian ini secara umum, gambar 1 di bawah ini merupakan skenario tahapan dalam penelitian ini.



Gambar 1. Bagan Alir Riset

Tahapan Rancangan Campuran Mortar Geopolimer

- Pembuatan *mix design* (rancangan campuran) mortar geopolimer.
- Penentuan jumlah sampel berdasarkan variasi komposisi campuran mortar sebagaimana tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Sampel benda uji

No	Variasi Komposisi	Persentase Na ₂ SiO ₃ dan NaOH	Umur (hari)		Total
			7	28	
1	50% LCK+50%LCTA	70% : 30%	3	3	6
2	80% LCK+20%LCTA		3	3	6
3	100%LCTA		3	3	6
Total					18

Keterangan: LCK = Limbah Cangkang Kerang, LCTA = Limbah Cangkang Telur Ayam

Lokasi Penelitian

Tempat pelaksanaan penelitian berupa pembuatan dan pengujian beton geopolimer berlokasi di Laboratorium Uji Bahan, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Fakfak

Teknik Pengambilan Data

Pengambilan data dalam penelitian ini didapatkan berdasarkan hasil pengujian yang dilaksanakan di laboratorium. Data yang diambil merupakan data primer yang meliputi data hasil pengujian karakteristik material yang berupa bahan prekursor (cangkang kerang dan cangkang telur) dan agregat halus (pasir). Pengujian cangkang kerang berupa pengambilan data unsur kimia menggunakan metode XRF dan pengujian agregat kasar dan agregat halus yang meliputi luaran data uji analisa saringan, kadar air agregat, berat jenis agregat dan absorpsi.

Teknik Analisis Data

Metode analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Analisa saringan

$$F_{\text{pasir}} = \frac{\% \text{tinggal kumulatif} \geq 0,15 \text{ mm}}{100}$$

Dimana:

Fpasir = modulus kehalusan pasir

b. Kadar air

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{C}{D} \times 100\%$$

Dimana:

C = berat basah (kondisi lapangan)

D = berat kering (setelah dioven)

c. Berat jenis

$$\begin{aligned}
 \text{Apparent specific gravity} &= \frac{E}{E+D-C} \\
 \text{Bulk specific gravity on dry basic} &= \frac{E}{B+D-C} \\
 \text{Bulk specific gravity SSD basic} &= \frac{B}{B+D-C} \\
 \text{Absorption (penyerapan)} &= \frac{B-E}{E} \times 100\%
 \end{aligned}$$

Dimana :

A = berat flask (gram)

B = berat contoh kondisi SSD di udara (gram)

C = berat flask + air + contoh SSD (gram)

D = berat flask + air (standar)

d. Kuat tekan

$$\text{Kuat tekan, } F = \frac{P}{A}$$

Dimana:

P = beban maksimum (kg)

A = luas penampang bidang (cm²)

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Pengujian Karakteristik Agregat

a) Cangkang Kerang dan cangkang telur

Berdasarkan hasil pengujian karakteristik serbuk cangkang kerang dan cangkang telur ayam, diperoleh uji XRF sebagaimana ditunjukkan pada tabel di bawah ini.

Tabel 2. Hasil uji XRF serbuk cangkang

No.	Parameter Uji	Hasil (%)
1.	CaO	95.598
2.	SiO ₂	2.188
3.	Fe ₂ O ₃	1.465
4.	SrO	0.462
5.	MnO	0.197
6.	SO ₃	0.044
7.	MgO	1.000
8.	ZrO ₂	0.014
9.	Al ₂ O ₃	0.600

Tabel 3. Hasil uji XRF serbuk cangkang telur ayam

No.	Parameter Uji	Hasil (%)
1.	CaO	98.209
2.	SO ₃	0.969
3.	K ₂ O	0.687
4.	SrO	0.057
5.	Ag ₂ O	0.050
7.	CuO	0.028

b) Uji Karakteristik Agregat

Agregat halus yang digunakan dalam riset ini diperoleh dari quarry Sakartemen, Distrik Fakfak Timur, Kabupaten Fakfak. Sedangkan agregat kasar didapatkan dari *stone crusher* Dewata Fakfak. Seluruh tahapan pengujian agregat halus dan agregat kasar dilakukan di Laboratorium Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Fakfak

Tabel 3. Hasil uji karakteristik agregat halus

No.	Karakteristik Agregat	Interval	Hasil Pengujian	Keterangan
1.	Kadar lumpur	Maks. 5%	1%	Memenuhi
2.	Kadar air	0.5 - 5%	4.46	Memenuhi
3.	Berat volume	1.4 - 1.9 kg/liter	1.41	Memenuhi
4.	Absorpsi	0.2 – 2%	1.83	Memenuhi
5.	Berat jenis spesifik			
	Bj. nyata	1.6 - 3.3	2.77	Memenuhi
	Bj. dasar kering	1.6 - 3.3	1.81	Memenuhi
	Bj. kering permukaan	1.6 - 3.3	2.15	Memenuhi
6.	Modulus kehalusan	1.50 – 3.80	3.46	Memenuhi

Tabel 3. Hasil uji karakteristik agregat kasar

No.	Karakteristik Agregat	Interval	Hasil Pengujian	Keterangan
1.	Kadar lumpur	Maks. 1%	0.31	Memenuhi
2.	Kadar air	0.5 - 2%	1.60	Memenuhi
3.	Berat volume	1.4 - 1.9 kg/liter	1.81	Memenuhi
4.	Absorpsi	Maks 4%	2.47	Memenuhi
5.	Berat jenis spesifik			
	Bj. Nyata	1.6 - 3.3	2.50	Memenuhi
	Bj. dasar kering	1.6 - 3.3	2.56	Memenuhi
	Bj. kering permukaan	1.6 - 3.3	2.66	Memenuhi
6.	Modulus kehalusan	5.5 – 8.5	8.05	Memenuhi

2. Rancangan Campuran (*Mix Design*) Beton Geopolimer

Campuran geopolimer dalam penelitian ini menggunakan pendekatan berdasarkan tata cara perbandingan volume massa material (Kaselle, 2021). Rasio campuran pada benda uji yaitu berupa 70% agregat dan 30% binder (limbah cangkang dan aktivator). Komposisi agregat kasar dan halus adalah 1: 3. Sedangkan rasio antara aktivator dan binder yaitu masing-masing 70 % : 30%. Komposisi campuran geopolimer pada 3 variasi campuran geopolimer berdasarkan jumlah sampel (6 sampel silinder setiap variasi) dalam penelitian ini disajikan pada tabel berikut

Tabel 4. Proporsi campuran beton geopolimer

Variasi beton geopolimer	Pasir (g)	Agregat kasar (g)	Serbuk kerang (g)	Serbuk telur (g)	Na ₂ SiO ₃ (g)	NaOH (g)
50% LCK+50%LCTA	593.46	1384.74	296.73	296.73	178.04	76.30
80% LCK+20%LCTA	593.46	1384.74	474.77	118.69	178.04	76.30
100% LCTA	593.46	1384.74		593.46	178.04	76.30

Penentuan Jenis alkali aktivator yang digunakan dalam penelitian ini yaitu Na₂SiO₃ (waterglass) dan NaOH (sodium hidroksida). NaOH yang digunakan dalam penelitian ini berbentuk padatan, oleh karena itu sebelum digunakan harus dilarutkan terlebih dahulu. Larutan NaOH yang digunakan adalah menggunakan Molaritas 8M.

3. Hasil Uji Tekan

Nilai struktural kuat tekan rerata yang didapatkan berdasarkan 3 (tiga) variasi beton geopolimer yaitu 50% LCK+50%LCTA, 80% LCK+20%LCTA dan 100% LCTA pada umur pengujian 7 dan 28 hari dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4. Nilai kuat tekan rata-rata beton geopolimer

Umur (hari)	Variasi		
	50% LCK+50%LCTA (MPa)	80% LCK+20%LCTA (MPa)	100%LCTA (MPa)
7	7.64	10.31	1.50
28	11.47	14.29	2.20

4. Hasil Uji *Setting Time*

Uji setting time merupakan suatu uji untuk mengetahui waktu pengikatan awal dan pengikatan akhir pada beton geopolimer, dimana indikasi pengikatan awal terjadi ketika penurunan jarum vicat tercatat sebesar 25 mm. Sedangkan untuk pengikatan akhir tercatat kurang lebih 0 mm dengan kata lain tidak terjadi penurunan vicat (SNI, 2022). Waktu ikat awal (*initial setting time*) dari beton dan waktu ikat akhir (*final setting time*) diperoleh dengan melakukan pengujian setting time (Setiawati, 2021). Hasil uji waktu pengikatan pada beton geopolimer dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4. Nilai kuat tekan rata-rata beton geopolimer

Variasi Beton Geopolimer	<i>Final Setting Time</i> (menit)
50% LCK+50%LCTA	215
80% LCK+20%LCTA	240
100% LCTA	345

5. Pembahasan

- a. Uji XRF bahan penyusun geopolimer (cangkang kerang dan cangkang telur ayam)

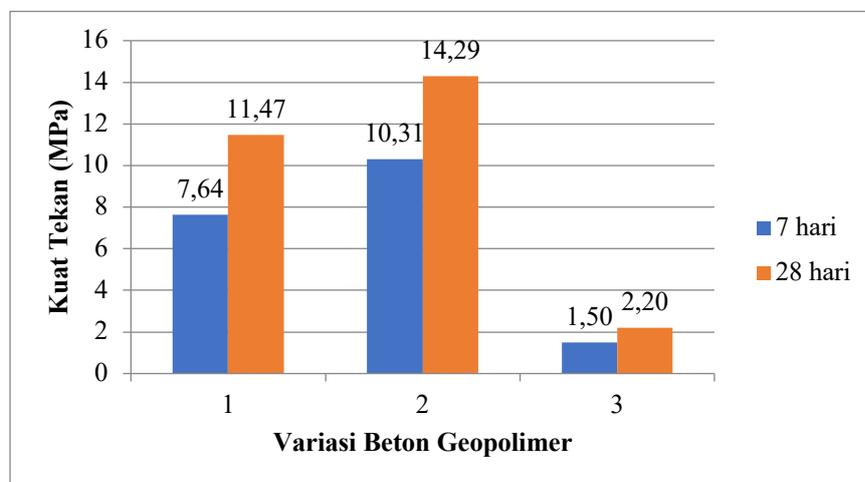
Hasil uji XRF menunjukkan bahwa unsur kimia yang dimiliki oleh cangkang kerang mempunyai unsur pokok penyusun geopolimer CaO dan SiO₂ (Kusuma, 2021) atau secara umum memenuhi kategori unsur dominan yang dimiliki oleh semen berupa CaO, MgO, SiO₂, Al₂O₃ dan Fe₂O₃. Sedangkan unsur yang ada pada serbuk cangkang telur ayam hanya memiliki 1 unsur yang dimiliki oleh semen yaitu CaO.

b. Uji Karakteristik Agregat

Agregat penyusun beton geopolimer berupa agregat halus dan agregat kasar menunjukkan bahwa hasil uji karakteristik pengujian meliputi uji kadar air, analisa saringan, berat jenis dan absorpsi secara umum memenuhi standar pengujian. Hasil tersebut sesuai dengan parameter standar uji agregat penyusun campuran beton (Imran, 2023)

c. Uji Kuat Tekan

Uji kuat tekan pada 3 variasi beton geopolimer menunjukkan bahwa penggunaan 80%LCK+20%LCTA mempunyai nilai struktural kuat tekan yang paling tinggi pada umur 7 dan 28 hari dengan nilai masing-masing 10.31 MPa dan 14.29 MPa. Perolehan hasil uji tekan tersebut mempertegas bahwa jumlah persentase 80% penggunaan limbah cangkang kerang mendominasi kenaikan nilai kuat tekan untuk 3 variasi beton pada umur beton maksimal 28 hari. Hasil ini juga membuktikan bahwa *workability* dalam penggunaan cangkang kerang pada campuran beton geopolimer cukup baik (Restu, 2017).

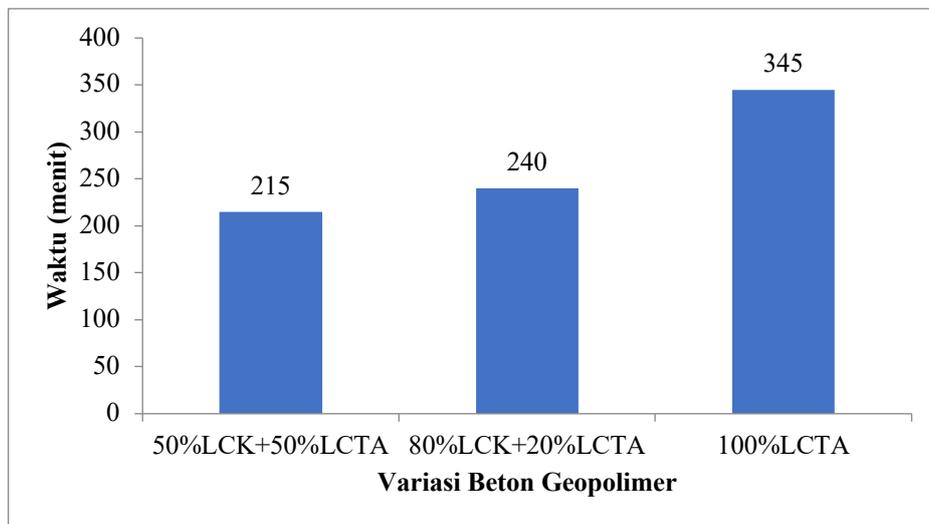


Gambar 5. Grafik Kuat Tekan Beton Geopolimer

Gambar grafik 1 di atas membuktikan jika unsur pokok penyusun geopolimer berupa CaO dan SiO₂ turut memberikan kontribusi bertambahnya nilai kuat tukan pada limbah cangkang kerang dengan persentase 80% pada umur beton optimum. Sementara hasil yang didapatkan pada pesentase 100% penggunaan limbah cangkang telur hanya mendapatkan nilai struktural kuat tekan sebesar 2.20 MPa pada umur beton 28 hari. Nilai yang dihasilkan tersebut turut menegaskan jika unsur SiO₂ yang tidak dimiliki oleh cangkang telur mengakibatkan nilai struktural beton geopolimer sangat rendah meskipun variasi penggunaannya 100% (persentase paling tinggi dari semua variasi).

d. Uji *Setting Time*

Berdasarkan hasil uji setting time dalam penelitian ini, maka diambil nilai rata-rata hasil uji pada jenis variasi campuran beton geopolimer. Nilai rerata uji *final setting time* pada 3 variasi ditampilkan pada gambar 2 di bawah ini



Gambar 5. Grafik Hasil Uji Setting Time

Mengacu pada gambar 2 yang ditampilkan di atas, dapat dilihat bahwa variasi 50%LCK+50% LCTA adalah jenis variasi beton geopolimer dengan waktu tersingkat selama 215 menit dan variasi 100% LCTA mempunyai setting time 345 menit. Hal ini menunjukkan bahwa workability penggunaan beton geopolimer berbasis persentase variasi cangkang terbanyak mempengaruhi final setting time. Semakin tinggi pesentase variasi, semakin lama waktu yang dibutuhkan oleh beton untuk mengeras. Jika dilihat

dari sisi kuat tekan terbesar yang dihasilkan, penggunaan 80% LCK+20%LCTA membutuhkan waktu pengikatan akhir selama 240 menit. Hasil tersebut menunjukkan bahwa dominasi penggunaan cangkang kerang sebesar 80% dan cangkang telur pada beton geopolimer sebesar 20% mampu menghasilkan nilai kuat tekan sebesar 14,29 MPa, nilai ini merupakan yang paling tinggi dibandingkan dengan variasi lainnya. Persentase cangkang telur sebesar 100% dengan setting time selama 345 menit tidak menunjang tingginya nilai kuat tekan. Nilai kuat tekan yang didapatkan untuk variasi ini hanya sebesar 2.20 MPa. Final setting time pada variasi cangkang dalam penelitian ini menghasilkan waktu yang paling singkat yaitu hanya pada penggunaan model kombinasi cangkang kerang dan cangkang telur

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan dalam penelitian ini menunjukkan jika cangkang kerang dapat digunakan sebagai bahan penyusun beton geopolimer karena mempunyai unsur dasar yang ada pada bahan geopolimer berupa SiO_2 , CaO , Al_2O_3 , Al_2O_3 , dan MgO . Sementara pada cangkang telur ayam, unsur dominannya hanya pada unsur CaO . Kuat tekan beton geopolimer yang paling tinggi pada 3 variasi cangkang diperoleh dari kombinasi variasi 80%LCK+20%LCTA dengan nilai kuat tekan sebesar 14,29 MPa pada umur 28 hari. Sedangkan variasi beton geopolimer 100%LCTA atau yang menggunakan cangkang telur tidak menunjukkan nilai struktrtural yang bagus karena hanya mendapatkan hasil kuat tekan pada umur 28 hari senilai 2,20 MPa. Penggunaan cangkang kerang dengan variasi 80% dengan penambahan cangkang telur sebanyak 20% berpotensi digunakan sebagai campuran beton geopolimer pada pekerjaan konstruksi.

Saran penelitian dalam rangka riset berkelanjutan yaitu bahwa perlu mengetahui pengaruh karakteristik material geopolimer di sekitar kita dengan melakukan uji XRF secara masif yang berpotensi sebagai prekursor/bahan geopolimer potensial pengganti semen. Selanjutnya untuk memperoleh hasil penelitian yang mempunyai keberlanjutan, maka diperlukan penelitian yang akan mengkaji secara lengkap parameter struktural beton seperti kuat lentur, kuat tarik, modulus elastisitas dan parameter struktural lain yang diperlukan sesuai jenis konstruksi yang ada.

DAFTAR REFERENSI

- Rangan, P.R., Irmawaty, R., Amiruddin, A.A. dan Bakri, B. Studi Pemanfaatan Abu Jerami, Abu Terbang dan Tanah Laterit Sebagai Material Geopolymer. Prosiding Konferensi Nasional Pascasarjana Teknik Sipil (KNPTS) X 2019, Bandung: 5 November 2019. Hal. 385-392, 2019
- Davidovits, J. Properties of Geopolymer Cements. Alkaline Cements and Concretes. Kiev State Technical University, Kiev, Ukraine. 1994
- Kusuma, A., Wallah, S. dan Dapas, S. Kuat Tarik Belah Beton Geopolimer Berbasis Abu Terbang. *Jurnal Sipil Statik*, 2021; 2 (7), 330-336
- Erwan, R. dan Wardhono, A. Pengaruh Substitusi Limbah Marmer Terhadap Nilai Kuat Tekan Dry Geopolymer Mortar Metode WET Mixing dengan Berbahan Dasar Abu Terbang dan NaOH 8 M. *Jurnal Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya*, 2019; 7 (3), 1-5
- Syaputra, D.A., Nugroho, F.R., dan Purwanto. Studi Eksperimental Pengaruh Perbedaan Molaritas Aktivator pada Perilaku Beton Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash. *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 2018; 7 (1), 89-98
- Salwatul, N. Pengaruh Rasio Sodium Hidroksida dengan Sodium Silikat pada Mortar Geopolimer Berbahan Dasar Abu Terbang Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Geser pada Aplikasi Spesi Batu Bata. *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil*, 2017; 2 (2), 211-218
- Imran. Studi Eksperimental Kuat Tekan Beton yang Menggunakan Pasir Laut Sebagai Agregat Halus di Kabupaten Fakfak Provinsi Papua Barat. *Jurnal Inovtek Polbeng*, 2017; 7 (1), 234-240.
- Imran. Pemanfaatan Abu Limbah Kayu sebagai Material Substitusi Sebagian Semen pada Campuran Beton. *Jurnal Portal Teknik Sipil Politeknik Negeri Lhokseumawe*, 2023; 15 (2), 69-75.
- Siregar, S.M. Pemanfaatan Kulit Kerang dan Resin Epoksi Terhadap Karakteristik Beton Polimer. Tesis, Universitas Sumatra Utara, Medan, 2009.
- Santoso, A. Pemanfaatan Tepung Cangkang Telur Bebek sebagai Bahan Pembuatan Beton Geopolimer. Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta, Jakarta, 2015.
- Syafpoetri, N. A. Pemanfaatan Abu Kulit Kerang (Andara Grandis) untuk Pembuatan Ekosemen. Fakultas Teknik, Universitas Riau, Jakarta, 2013.
- Maryam, S. Pengaruh Serbuk Cangkang Kerang sebagai Filter terhadap Sifat-Sifat Mortar. Fakultas MIPA, Universitas Sumatra Utara, Medan, 2006
- Restu, F.S. Pengaruh Penggunaan Limbah Cangkang Kerang dan Fly Ash pada Binder Geopolimer. Proyek Akhir Terapan, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya, 2013
- Annur, C.M. Konsumsi Telur Ayam di Indonesia Meningkat sejak Pandemi, diakses pada tanggal 29 Desember 2023, www.katadata.co.id, 2022
- Anastasia, K., Prihantono. dan Anisah. Peningkatan Kuat Tekan Beton Geopolimer dengan Menggunakan Variasi Abu Cangkang Telur Bebek Melalui Proses Pengovenan. *Jurnal Menara Teknik Sipil*, 2020; 15 (1), 23-29

Pemanfaatan Limbah Cangkang Kerang dan Cangkang Telur pada Beton Geopolimer

- Pramadanatra, A. Pemanfaatan Tepung Cangkang Telur Bebek sebagai Bahan Dasar Pembuatan Beton Geopolimer. Skripsi, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Negeri Jakarta, Jakarta, 2015
- Pohan, R.F. dan Rambe, M.R. Beton Ramah Lingkungan dengan Cangkang Telur sebagai Pengganti Sebagian Semen. *Jurnal Metiks*, 2022; 2 (1), 15-19.
- Kaselle, H., Ruga, S., Zhafirah, S.A. 2021. Karakteristik Mortar Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash dan Bottom Ash. *Prosiding 5th Seminar Nasional Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat*. 13 November 2021, Makassar. Hal. 66-71
- SNI 2002 (03-6827-2002). Uji Setting Time . Badan Standardisasi Nasional
- Setiawati, M., Masri., Rosmilawati. 2021. Setting Time dan Kuat Tekan Beton dengan Plastiment VZ. *Prosiding Seminar Nasional AvoER XIII*. 27-28 Oktober 2021, Palembang. Hal. 280-285
- Kusuma, A., Wallah, S. dan Dapas, S. 2021. Kuat Tarik Belah Beton Geopolimer Berbasis Abu Terbang. *Jurnal Sipil Statik*. 2 (7): 330-336