

Pengaruh Subtitusi Parsial Variasi Tepung Kaca Terhadap Kuat Tekan Beton Geopolimer

SIRAIT KRISTIN ANGELIKA^{1*}, ERMA DESIMALIANA², MIRARA KHANZA²

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Bandung, Indonesia

²Dosen Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Bandung, Indonesia

Email: kristinangelika07@gmail.com

ABSTRAK

Salah satu masalah utama yang dihadapi adalah tingginya emisi karbon dioksida (CO₂) yang dihasilkan semen selama proses pembangunan dan penggunaan gedung. Penelitian ini dilakukan dengan membuat perbandingan agregat dan binder-nya sebesar 70%:30%, sebagai pengganti material pengikat yang digunakan yaitu fly ash dan tepung kaca, yang direaksikan dengan alkali aktivator untuk menghasilkan binder pada beton geopolimer. Alkali aktivator yang digunakan yaitu larutan NaOH konsentrasi 10M dan Na₂SiO₃ dengan perbandingan 1:3. Pada penelitian ini dilakukan 4 variasi benda uji berbentuk silinder ukuran 10 cm x 20 cm sebanyak 48 buah dengan perbandingan tepung kaca dan fly ash yaitu 0%:100% (variasi A), 10%:90% (variasi B), 15%:85% (variasi C), dan 25%:75% (variasi D). Metode membran diaplikasikan untuk perawatan benda uji, selanjutnya dilakukan pengujian kuat tekan beton pada umur 7, 14, dan 28 hari. Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan beton geopolimer tertinggi yaitu pada variasi B halmana 10% tepung kaca dengan 90% fly ash, dengan nilai masing-masing sebesar 21,12 MPa; 26,80 MPa; dan 28,65 MPa pada pengujian umur beton geopolimer 7 hari, 14 hari, dan 28 hari.

Kata kunci: beton geopolimer, tepung kaca, fly ash, alkali kktivator, kuat tekan beton

ABSTRACT

One of the main problems faced is the high emission of carbon dioxide (CO₂) produced by cement during the process of building and using the building. This research was conducted by making a ratio of aggregate and binder of 70%:30%, as a substitute for the binding material used, namely fly ash and glass powder, which were reacted with an alkaline activator to produce binder in geopolimer concrete. The alkaline activator used was a 10M concentration of NaOH and Na₂SiO₃ with a ratio of 1:3. In this study, 4 variations of cylindrical specimens measuring 10 cm x 20 cm were carried out with 48 pieces with a ratio of glass powder and fly ash, namely 0%:100% (variation A), 10%:90% (variation B), 15%: 85% (variation C), and 25%:75% (variation D). The membrane method was applied for the treatment of the specimens, then the compressive strength of the concrete was tested at the age of 7, 14 and 28 days. Based on the results of the geopolimer concrete compressive strength test, the highest was variation B, which was 10% glass flour and 90% fly ash, with each value of 21.12 MPa; 26.80 MPa; and 28.65 MPa on the geopolimer concrete age test of 7 days, 14 days and 28 days.

Keywords: geopolimer concrete, Glass powder, fly ash, alkaline activator, concrete compressive strength

1. PENDAHULUAN

Indonesia menjadi negara dengan populasi terbanyak ke-4 di dunia dengan jumlah penduduk lebih dari 280 juta jiwa, menyebabkan kebutuhan akan pembangunan yang tinggi, yang berbanding lurus dengan penggunaan semen sebagai salah satu material konstruksi, dimana semen menghasilkan emisi karbon dioksida (CO₂) yang tidak bersahabat dengan lingkungan, untuk melakukan upaya mengurangi emisi karbon dioksida maka dipilihlah tepung kaca sebagai pengganti dalam beton geopolimer karena memiliki karakteristik hampir sama dengan semen dengan kandungan silika mencapai 71%-74% [2].

Beton geopolimer merupakan suatu terobosan inovatif dalam industri konstruksi yang semakin menarik perhatian di era modern, keunggulan beton geopolimer tidak hanya terletak pada kinerja kemampuannya, melainkan juga pada aspek keberlanjutan juga. Penggunaan material daur ulang sebagai komponen penyusun utama dalam beton geopolimer menjadikannya sebagai alternatif material konstruksi ramah lingkungan dan berkelanjutan, serta berpotensi untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan itu sendiri [6].

Oleh karena itu, penelitian ini ditujukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh substitusi parsial variasi tepung kaca sebagai *binder*/pengikat dalam komposisi beton geopolimer terhadap kapasitas kuat tekannya.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton Geopolimer

Beton geopolimer merupakan jenis beton yang tersusun dari material alami dan ramah lingkungan, seperti abu terbang, abu vulkanik, pasir, tepung kaca dan larutan alkali atau larutan campuran alkali. Beton ini menggantikan penggunaan semen Portland dengan larutan alkali dan material pozzolan seperti abu terbang, sehingga menghasilkan sebuah material konstruksi alternatif yang lebih ramah lingkungan. Saat ini, beton geopolimer adalah inovasi material konstruksi semakin mendapatkan perhatian khusus dalam industri konstruksi modern. Proses produksi beton geopolimer melibatkan pencampuran material dasar dengan larutan alkali, yang kemudian mengalami reaksi kimia polimerisasi yang menghasilkan material yang kuat dengan daya tahan tinggi serta memiliki sifat mekanik yang unggul [3]. Perkembangan teknologi beton geopolimer dengan pemanfaatan material daur ulang (*recycle*) seperti tepung kaca, berpotensi menghasilkan beton yang lebih ramah lingkungan dan berkinerja tinggi, serta memiliki dampak positif pada industri konstruksi dalam menghadapi tantangan keberlanjutan masa depan [4].

2.2 Material Penyusun Beton Geopolimer

Material penyusun beton geopolimer, di antaranya sebagai berikut.

2.2.1 Agregat

Agregat dapat didefinisikan sebagai sekumpulan butiran atau partikel padat, seperti pasir, kerikil, atau batu pecah, yang digunakan dalam industri konstruksi sebagai material utama dalam berbagai material konstruksi. Agregat berfungsi sebagai filler/pengisi dalam campuran konstruksi sehingga dapat memberikan kekuatan struktural serta stabilitas. Dalam penggunaannya Agregat diklasifikasikan baik sebagai agregat kasar maupun agregat halus. Agregat kasar biasanya terdiri dari butiran berukuran lebih besar dari 4,75 mm (seperti kerikil ataupun batu pecah), sementara agregat halus terdiri dari butiran berukuran lebih kecil dari 4,75 mm (seperti pasir).

2.2.2 Fly ash

Fly ash dapat didefinisikan sebagai ampas dari produk sampingan akibat proses pembakaran batu bara pada PLTU. Material fly ash juga tersusun dari kandungan silika dan alumina pada lelehan batu bara yang, serta terbawa oleh aliran gas yang dihasilkan selama proses pembakaran. Setelah proses pembakaran selesai, *fly ash* dipisahkan dari aliran gas menggunakan sistem penyaringan atau *precipitator* elektrostatik.

2.2.3 Tepung kaca

Tepung kaca dapat didefinisikan sebagai serbuk halus yang terbuat dari material kaca yang telah dihaluskan menjadi partikel-partikel sangat kecil yang lolos saringan ukuran 0,075 mm atau tertahan di *pan*. Proses pembuatan tepung kaca melibatkan penggilingan dan penghalusan material kaca sehingga menghasilkan serbuk dengan tekstur halus dan seragam, halmana tepung kaca juga dapat menjadi agen pengeras pada campuran bahan komposit. Tepung kaca dapat menjadi substitusi/pengganti sebagian material pengikat dalam beton geopolimer [1].

Tabel 1. Kadar Komposisi dalam Berbagai Jenis Kaca [5]

Jenis Kaca	Clear Glass	Amber Glass	Green Glass	Pyrex Glass	Fused Silica
SiO ₂	73,2-73,5	71-72,4	71,27	81	99,87
Al ₂ O ₃	1,7-1,9	1,7-1,8	2,22	2	
Na ₂ O+K ₂ O	13,6-14,1	13,8-14,4	13,06	4	
CaO+K ₂ O	10,7-10,8	11,6	12,17	-	
SO ₃	0,2-0,24	0,12-0,14	0,052	-	
Fe ₂ O ₃	0,04-0,05	0,3	599	3,72	
Cr ₂ O ₃	-	0,01	0,43	12-13,0	

2.2.4 Air

Air berperan sebagai media untuk mengaktivasi alkali yang terdapat dalam alkali aktivator. Pada teknologi beton geopolimer, alkali aktivator biasanya berupa larutan alkali yang diaduk bersamaan dengan material penukar kation dan material pengikat (seperti *fly ash* ataupun material aluminosilika) untuk membentuk matriks geopolimer. Kandungan air yang tepat, serta perbandingan dengan material lainnya sangat penting untuk memastikan terjadinya reaksi kimia yang optimal dan terbentuknya matriks geopolimer yang kuat.

2.2.5 Alkali aktivator

Alkali aktivator tersusun dari larutan alkali seperti natrium hidroksida (NaOH) ataupun natrium silikat (Na₂SiO₃), serta material aditif lain yang dapat meningkatkan kinerja geopolimer atau beton geopolimer. Proses aktivasi alkali ini biasanya disebut sebagai proses polimerisasi yang menyebabkan reaksi antara silika dan alumina dalam material penukar kation dengan alkali, menghasilkan jaringan tiga dimensi yang padat dan mengikat partikel-partikel agregat, serta memberikan kekuatan mekanik yang tinggi pada material akhir [7].

2.2.6 Kuat tekan beton

Kuat tekan beton merupakan kapasitas beton dalam menahan beban pada atas permukaan bidang tekan tanpa terjadi kerusakan ataupun deformasi yang signifikan. Kuat tekan beton biasanya diukur dalam satuan MPa (Mega Pascal) dan menjadi parameter utama untuk kekuatan sifat mekanik beton.

$$f'_c = \frac{P}{A} \quad \dots(1)$$

dengan:

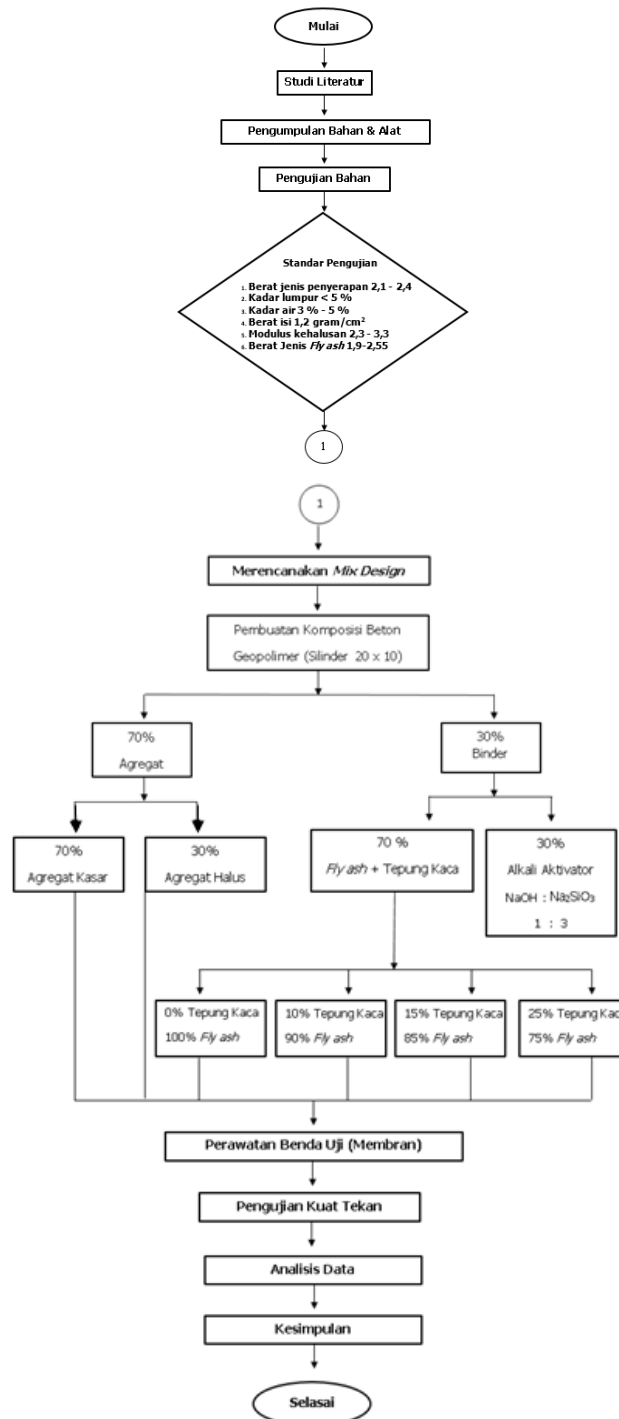
f'_c = kuat tekan beton [MPa],

P = beban tekan maksimum [N],

A = luas permukaan bidang tekan [mm^2].

3. METODOLOGI PENELITIAN

Langkah sistematis yang diambil oleh peneliti untuk merencanakan, melaksanakan, dan menganalisis data dalam penelitian.



Gambar 1. Grafik peningkatan kuat tekan beton geopolimer terhadap umur pengujian

3.1 Tahapan Penelitian

Pada penelitian ini, tahap yang pertama kali dilakukan adalah mengidentifikasi masalah penelitian, menentukan topik penelitian, menggali literatur yang relevan, dan merumuskan pertanyaan dan menentukan tujuan penelitian yang spesifik dan jelas melibatkan pencarian dan analisis literatur yang relevan yang telah dipublikasikan sebelumnya mengenai topik penelitian dilanjutkan dengan pembuatan benda uji dan pengujian kuat tekan.

3.2 Tahapan Persiapan Material

Sebelum melakukan pengujian perlu dilakukan persiapan material yang akan digunakan. Persiapan bahan uji sebagai berikut:

1. *Fly ash* kelas F didapat dari PLTU Paiton Jawa Timur.
2. Alkali aktivator yaitu campuran larutan NaOH dan Na₂SiO₃ dengan perbandingan 1:3.
3. Agregat kasar (kerikil) tertahan pada saringan no. 4.
4. Agregat halus (pasir) lolos pada saringan no. 4.
5. Baik *fly ash* maupun tepung kaca lolos pada saringan no. 200.

3.2 Tahapan Pengujian Material

Tahapan ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik dari material penyusun beton geopolimer, seperti:

1. Pengujian agregat baik kasar maupun halus, terdiri dari berat jenis [11], penyerapan, kadar air [9], kadar lumpur dan analisis saringan [8].
2. Pengujian *fly ash* [10] dan tepung kaca, yaitu berat jenis.

3.3 Pembuatan Campuran Beton Geopolimer

Pembuatan komposisi campuran beton geopolimer melalui proses yang kompleks yang memerlukan pemahaman mendalam tentang komposisi material-material yang digunakan dan reaksi kimia yang terlibat. Tabel 1 hingga Tabel 4 menunjukkan komposisi campuran beton [12] dengan 4 variasi tepung kaca dan fly ash. Variasi A menunjukkan kadar tepung kacang 0% dan fly ash 90%, variasi B menunjukkan kadar tepung kaca 10% dan fly ash 90%, variasi C menunjukkan kadar tepung kaca 15% dan fly ash 85%, serta variasi D menunjukkan kadar tepung kaca 25% dan fly ash 75%.

Tabel 1. Variasi A (Tepung Kaca 0% : Fly Ash 100%)

No.	Material		Volume [m ³]	Massa Jenis [kg/m ³]	Massa	Massa
					1 buah	12 buah
1	Agregat [70%]	Kasar [70%]	0,00077	2.645	2,036	24,433
		Halus [30%]	0,00033	2.470	0,815	9,779
2	Tepung kaca + Fly Ash [70%]	Tepung Kaca [0%]	0,00000	2.650	0,000	0,000
		Fly Ash [100%]	0,00033	2.500	0,825	9,897
3	NaOH:Na ₂ SiO ₃ [30%]	NaOH [1]	3,535 x 10 ⁻⁵	1.376	0,049	0,584
		Na ₂ SiO ₃ [3]	0,00011		0,146	1,751

Tabel 2. Variasi B (Tepung Kaca 10% : Fly Ash 90%)

No.	Material		Volume [m ³]	Massa Jenis [kg/m ³]	Massa [kg] 1 buah	Massa [kg] 12 buah
1	Agregat [70%]	Kasar [70%]	0,00077	2.645	2,036	24,433
		Halus [30%]	0,00033	2.470	0,815	9,779
2	Tepung kaca + Fly Ash [70%]	Tepung Kaca [0%]	0,00003	2.650	0,087	1,049
		Fly Ash [100%]	0,00030	2.500	0,742	8,908
3	NaOH:Na ₂ SiO ₃ [30%]	NaOH [1]	3,535 x 10 ⁻⁵	1.376	0,049	0,584
		Na ₂ SiO ₃ [3]	0,00011		0,146	1,751

Tabel 3. Variasi C (Tepung Kaca 15% : Fly Ash 85%)

No.	Material		Volume [m ³]	Massa Jenis [kg/m ³]	Massa [kg] 1 buah	Massa [kg] 12 buah
1	Agregat [70%]	Kasar [70%]	0,00077	2.645	2,036	24,433
		Halus [30%]	0,00033	2.470	0,815	9,779
2	Tepung kaca + Fly Ash [70%]	Tepung Kaca [0%]	4,959 x 10 ⁻⁵	2.650	0,131	1,574
		Fly Ash [100%]	0,00028	2.500	0,701	8,413
3	NaOH:Na ₂ SiO ₃ [30%]	NaOH [1]	3,535 x 10 ⁻⁵	1.376	0,049	0,584
		Na ₂ SiO ₃ [3]	0,00011		0,146	1,751

Tabel 4. Variasi D (Tepung Kaca 25% : Fly Ash 75%)

No.	Material		Volume [m ³]	Massa Jenis [kg/m ³]	Massa [kg] 1 buah	Massa [kg] 12 buah
1	Agregat [70%]	Kasar [70%]	0,00077	2.645	2,036	24,433
		Halus [30%]	0,00033	2.470	0,815	9,779
2	Tepung kaca + Fly Ash [70%]	Tepung Kaca [0%]	8,248 x 10 ⁻⁵	2.650	0,219	2,623
		Fly Ash [100%]	0,00025	2.500	0,619	7,423
3	NaOH:Na ₂ SiO ₃ [30%]	NaOH [1]	3,535 x 10 ⁻⁵	1.376	0,049	0,584
		Na ₂ SiO ₃ [3]	0,00011		0,146	1,751

Jumlah benda uji silinder untuk semua variasi sebanyak 48 buah dengan uraian tersaji pada **Tabel 5**. Benda uji silinder pada beton geopolimer ini dilakukan perawatan dengan metode membran.

Tabel 5. Jumlah Total Benda Uji

Variasi	Umur			Jumlah
	7 Hari	14 Hari	28 Hari	
A	4	4	4	12
B	4	4	4	12
C	4	4	4	12
D	4	4	4	12
Total				48

4. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Kualitas Material

Pengujian kualitas material ini, tersaji pada Tabel 6 hingga Tabel 9, dimaksudkan sebagai kontrol material terhadap standar mutu dan kualitas yang ditetapkan spesifikasi atau ketentuan yang berlaku.

Tabel 6. Hasil Pengujian Agregat Kasar

No	Pengujian Material	Nilai	Ketentuan	Keterangan
Berat Jenis				
1	<i>Apparent Specific Gravity</i>	2,798	SNI 1970:2008 <i>Specific gravity</i> berkisar 2,1-2,9	OK
	<i>Bulk Specific Gravity Dry</i>	2,645		
	<i>Bulk Specific Gravity SSD</i>	2,701		
	Presentase Penyerapan [%]	1,46		
2	Kadar Air	3,623	SNI 15-1990-30 Kadar air berkisar 3%-5%	OK
Berat Isi				
3	Gembur	1,231	SNI 03-4908-1998 Berat isi berkisar 1,2-1,75 gr/cm ³	OK
	Padat	1,576		
4	Kadar Lumpur	0,67	SNI 03-2461-2002 Kadar lumpur <1%	OK
5	Analisis Saringan	6,021	SNI 03-1968-1990 Modulus kehalusan berkisar 6% -6,9%	OK

Tabel 7. Hasil Pengujian Agregat Halus

No	Pengujian Material	Nilai	Ketentuan	Keterangan
Berat Jenis				
1	<i>Apparent Specific Gravity</i>	2,522	SNI 1970:2008 <i>Specific gravity</i> berkisar 2,1-2,9	OK
	<i>Bulk Specific Gravity Dry</i>	2,47		
	<i>Bulk Specific Gravity SSD</i>	2,501		
	Presentase Penyerapan	2,15		
2	Kadar Air	3,574	SNI 15-1990-30 Kadar air berkisar 3%-5%	OK
Berat Isi				
3	Gembur	1,55	SNI 03-4908-1998 Berat isi berkisar 1,2-1,75 gr/cm ³	OK
	Padat	1,603		
4	Kadar Lumpur	1,326	SNI 03-2461-2002 Kadar lumpur <5%	OK
5	Analisis Saringan	2,782	SNI 03-1968-1990 Modulus kehalusan berkisar 2,3% -3,1%	OK

Tabel 8. Hasil Pengujian Fly Ash

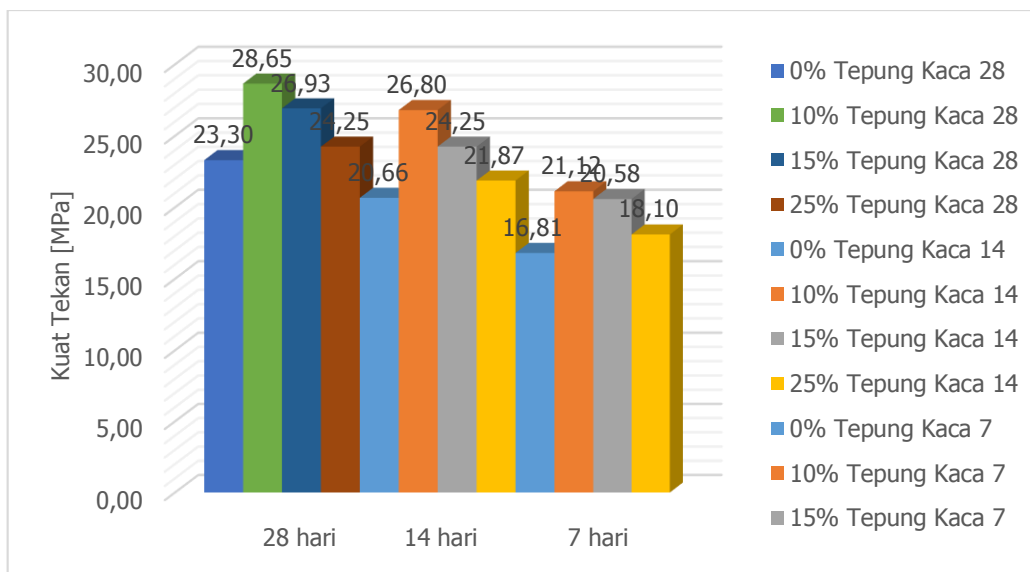
No	Pengujian Material	Nilai	Ketentuan	Keterangan
1	Berat Jenis Fly Ash	2,5	SNI 03-2460-1991 Berat jenis berkisar 1,9-2,55	OK

Tabel 9. Hasil Pengujian Tepung Kaca

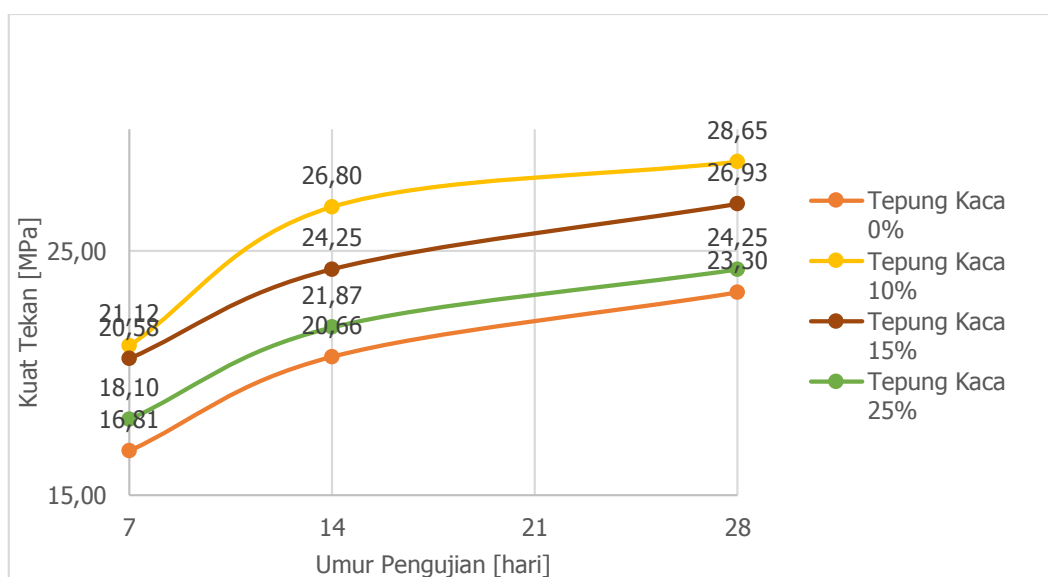
No	Pengujian Material	Nilai	Ketentuan	Keterangan
1	Berat Jenis Tepung Kaca	2,65	Berat jenis berkisar 2,2-2,8	OK

4.2 Hasil Pengujian Kuat Tekan

Hasil pengujian kuat tekan merupakan data yang menggambarkan kekuatan maksimum dari suatu bahan atau struktur saat mengalami tekanan.



Gambar 2. Bar chart hubungan kuat tekan beton geopolimer dengan umur pengujian



Gambar 3. Grafik peningkatan kuat tekan beton geopolimer terhadap umur pengujian

Dalam **Gambar 2** dan **Gambar 3** menunjukkan bahwa peningkatan umur pengujian berpengaruh terhadap kuat tekan beton geopolimer, hal ini terlihat dari persentase tepung kaca sebesar 10% (variasi B) memiliki kuat tekan paling tinggi dibandingkan dengan variasi lainnya, sedangkan persentase tepung kaca 0% (variasi A) ternyata memiliki kuat tekan paling rendah. Sehingga, penambahan tepung kaca sebagai *binder* dalam komposisi beton geopolimer memiliki pengaruh yang signifikan, namun penambahan tepung kaca yang terlalu banyak (di atas 10%) juga mengakibatkan penurunan kuat tekan.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Hasil dari pengujian dan pembahasan yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa jumlah tepung kaca berpengaruh pada kuat tekan geopolimer dengan metode perawatan membran yang menunjukkan hasil kuat tekan optimum berada pada variasi beton geopolimer B (*fly ash* 90% : tepung kaca 10%) pada umur 7, umur 14 dan 28 hari dengan nilai masing masing yaitu 21,12MPa, 26,80 MPa dan 28,65 MPa.

5.2 Saran

Hasil dari pengujian dan pembahasan yang telah dilakukan dapat disarankan untuk penelitian selanjutnya bahwa:

1. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa variasi B (*fly ash* 90% : tepung kaca 10%) dan variasi C (*fly ash* 85% : tepung kaca 15%) memiliki selisih kuat tekan yang tidak terlalu jauh, sehingga disarankan penelitian lebih lanjut dengan mencoba variasi penambahan tepung kaca pada rentang 1%-10%.
2. Untuk penelitian lebih lanjut juga dapat digunakan limbah tepung kaca berupa *clear glass* karena memiliki kandungan silika dan alumina terbanyak, serta paling banyak menjadi limbah kaca dalam kehidupan masyarakat (seperti: botol minuman dan kaca jendela) sehingga dapat mengurangi biaya dan juga upaya penggunaan kembali (*reuse*) material sebagai salah satu upaya yang berkelanjutan (*sustainable*).
3. Setelah dilakukan pencarian informasi lebih lanjut, Na_2SiO_3 (*water glass*) yang dijual kepada masyarakat memiliki kadar $>58\%$ kandungan Na_2SiO_3 dengan massa jenis 1,3 gr/ml halmana menghasilkan selisih perbedaan selisih yaitu 8 ml setiap sampel untuk dilakukan penelitian lanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. P. Deshmukh, V. V. Patil, A. S. Gupta., (2020). "Influence of Glass Powder on Mechanical Properties of Geopolymer Concrete," *Journal of Sustainable Cement-Based Materials*, Vol. 9, Issue 1.
- [2] Erny, A., Fajriyansyah, E., (2019), PENGARUH PENAMBAHAN *FLY ASH* DAN SERBUK KACA TERHADAP KUAT TEKAN BETON K-300.
- [3] M. S. Basha, S. S. Mehendale, A. S. Khan., (2019). "Effect of Glass Powder as Binder in Geopolymer Concrete: A Comparative Study," *Construction and Building Materials*, Vol. 203.
- [4] N. N. Jadhav, S. S. Jamkar, A. V. Dhattrak., (2018). "Utilization of Glass Powder as a Binder in Geopolymer Concrete," *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology (IJIRSET)*, Vol. 7, Issue 5.
- [5] R. P. Kumar, S. K. Singh, S. K. Khuntia., (2018) "An Experimental Study on Glass Powder-Based Geopolymer Concrete," *International Journal of Concrete Structures and Materials*, Vol. 12, No. 3.

- [6] A. Kumar, S. R. Reddy, P. Sharma., (2017). "Performance Evaluation of Geopolymer Concrete Using Glass Powder as Partial Replacement of Cement," *Journal of Construction and Building Materials*, Vol. 154.
- [7] Rashidian, D., P, Rangaraju., (2017), Comparison of strength and durability characteristics of a geopolymer produced from *fly ash*, ground glass fiber and glass powder.
- [8] Badan Standardisasi Nasional. (1990). SNI 03-1968-1990 tentang Metode pengujian tentang analisis saringan agregat kasar dan halus. Jakarta, Indonesia.
- [9] Badan Standardisasi Nasional. (1990). SNI 03-1971-1990 tentang Metode pengujian kadar air agregat. Jakarta, Indonesia.
- [10] Badan Standardisasi Nasional. (1991). SNI 03-2460-1991 tentang Spesifikasi abu terbang sebagai bahantambahan untuk campuran beton. Jakarta, Indonesia.
- [11] Badan Standardisasi Nasional. (1998). SNI 03-48-04-1998 tentang Metode pengujian bobot isi dan rongga udaradalam agregat. Jakarta, Indonesia.
- [12] Badan Standardisasi Nasional. 2000. SNI 03-2834-2000 tentang Tata cara pembuatan rencanacampuran beton normal. Jakarta, Indonesia.