

# Studi Eksperimental Kuat Tekan Beton Geopolimer dengan Metode *Curing* Pembasahan

Erma Desimaliana <sup>a\*</sup>, Euneke Widyaningsih <sup>a</sup>, Almas Qothrun Nada Kaltsum <sup>b</sup>, Tasya Indriani Setiana <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Dosen Program Studi Sarjana Teknik Sipil Institut Teknologi Nasional Bandung, Indonesia

<sup>b</sup> Mahasiswa Program Studi Sarjana Teknik Sipil Institut Teknologi Nasional Bandung, Indonesia

## Corresponding Author:

Email:

[ermadesmaliana@itenas.ac.id](mailto:ermadesmaliana@itenas.ac.id)

## Keywords:

concrete, geopolimer, curing method, wetting.

Received :

Revised :

Accepted :

**Abstract:** Geopolymer concrete is an environmentally friendly concrete that does not use cement at all, but uses high silica-containing materials such as fly ash (waste from PLTU). Geopolymer concrete consists of a binder material in the form of fly ash reacted with an alkaline activator solution, and filler material in the form of aggregate. The alkaline activator used is a solution of NaOH concentration of 8M and Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> solution in a ratio of 1:2, while the ratio of aggregate and binder is 60%:40%. In this study, the wetting treatment method was carried out with the number of test specimens for each variation as many as 3 test specimens and concrete compressive strength testing was carried out at the age of 3, 7, and 28 days on cylindrical test specimens with a size of 10 cm × 20 cm as many as 9 test specimens. Based on the results of the compressive strength test, the relationship graph between the compressive strength of concrete and the age of concrete is obtained, the value of the compressive strength of concrete with the wetting treatment method is 19.92 MPa.

Copyright © 2025 POTENSI-UNDIP

## 1. PENDAHULUAN

Infrastruktur merupakan suatu ranah yang memiliki peranan penting dalam keberlangsungan hidup manusia sehari-hari. Dalam prakteknya, untuk membangun infrastruktur yang baik maka diperlukan material konstruksi yang memiliki kekuatan memadai. Beton merupakan material konstruksi yang sangat umum digunakan pada bangunan, karena memiliki kekuatan untuk menahan gaya tekan yang tinggi. Beton tersusun dari agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil), semen dan air.

Beton sangat populer dan banyak digunakan di dunia konstruksi, karena material pembuatannya mudah didapat, harganya relatif murah, dan teknologi pembuatannya relatif sederhana. Akhir-akhir ini, beton semakin sering mendapat kritik, khususnya dari kalangan yang peduli dengan kelestarian lingkungan hidup. Hal ini dikarenakan emisi gas rumah kaca (karbon dioksida) yang dihasilkan dalam proses produksi semen, ternyata memiliki angka yang sangat besar dan berpotensi untuk mencemari udara secara signifikan. Davidovits (1994) menyatakan proses produksi semen menghasilkan gas emisi CO<sub>2</sub> dalam jumlah yang sebanding dengan jumlah semen yang diproduksi, memproduksi 1 ton semen sama dengan memproduksi 1 ton CO<sub>2</sub> ke dalam udara.

Salah satu upaya yang dapat dilakukan dalam bidang infrastruktur agar menjadi lebih ramah terhadap lingkungan adalah mencari material pengganti yang lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan semen. Material alternatif pengganti semen ini apabila berhasil dikembangkan juga dapat mendukung perwujudan *Sustainable Development Goals* (SDGs) poin ke-9. Hal ini terkait dengan peningkatan infrastruktur berkelanjutan, serta peningkatan efisiensi penggunaan sumberdaya dan proses industri yang bersih dan ramah lingkungan. Perwujudan SDGs ke-9 ini diharapkan dapat dicapai pada tahun 2030 oleh seluruh negara.

Beton geopolimer merupakan jenis beton yang tidak menggunakan semen sama sekali. Beton geopolimer terbentuk dari reaksi kimia polimerisasi, bukan reaksi hidrasi seperti pada beton normal (Davidovits, 1997). Beton geopolimer menggunakan material dasar dengan kandungan unsur silika dan alumina yang tinggi (Davidovits, 1999) (Sumajow, 2003). Material yang mengandung unsur silika dan alumina ini dapat menggantikan semen 100%. Adapun material pengganti semen yang mengandung unsur silika dan alumina, yaitu seperti lumpur Sidoarjo, abu terbang (Fansuri, 2008) (Manuahe, 2014) (Priyanka, 2016) (Wardani, 2008) (Setiawati, 2018) (Salain, 2020) (Putri, 2021), abu sekam padi, abu

ampas tebu, abu serbuk kayu, limbah kaca (Angelika, 2023), limbah bata ringan (Pratama, 2024), limbah marmer (Desimaliana, 2024) dan sebagainya.

Pada pelaksanaan pembakaran batu bara di PLTU, ternyata menghasilkan produk sampingan (*side product*) berupa abu terbang sebagai sisa dari pembakaran batu bara yang kemudian dihisap keluar dan ditumpuk. Limbah abu terbang dapat dimanfaatkan sebagai sumber material pengikat (*binder*) pada campuran beton geopolimer (ACI Committee 228, 1988). Beton geopolimer agar memperoleh yang sangat optimal, maka harus memperhatikan metode perawatan (*curing*) setelah beton geopolimer dicetak. Metode *curing* umumnya dilakukan pada umur awal beton geopolimer (Achmad, 2012) (Wallah, 2014) (Prasetyo, 2015) (Wang, 2020), yang bertujuan untuk menjaga mutu beton geopolimer. Metode *curing* yang biasanya dilakukan pada beton geopolimer, antara lain pembasahan, *membrane, oven* (Wulandari, 2016) (Hasner, 2019) (Hendriyani, 2019) (Hartono, 2022) dan *steam* (Tambingon, 2018) (Tjoanto, 2020).

Oleh karena itu, pada penelitian ini akan diuji karakteristik beton geopolimer terutama metode *curing* dengan pembasahan dengan harapan dapat menghasilkan kuat tekan beton geopolimer yang optimal.

## 2. METODE

Sebelum melakukan pengujian kuat tekan beton geopolimer, maka perlu dilakukan persiapan material penyusun yang akan digunakan. Setelah itu, akan dilanjutkan dengan melakukan pengujian terhadap kualitas material penyusun sebagai kontrol dari campuran beton geopolimer yang akan dibuat.

Setiap parameter pengujian yang dilakukan akan menentukan proporsi dari setiap material penyusun beton geopolimer yang dibuat. Pengujian kualitas material penyusun dilakukan terhadap agregat kasar, agregat halus, dan abu terbang berupa:

1. Berat jenis dan penyerapan agregat.
2. Kadar lumpur.
3. Kadar air.
4. Analisis saringan agregat.
5. Berat jenis abu terbang.

Pada proses pembuatan larutan  $\text{NaOH}:\text{Na}_2\text{SiO}_3$  dengan konsentrasi 8M, akan terjadi reaksi yang menghasilkan panas cukup tinggi. Oleh karena itu, pada saat pembuatan larutan NaOH dibutuhkan tempat/wadah yang tahan terhadap panas. Proses pembuatan larutan NaOH dilakukan 1 hari sebelum proses pengecoran; supaya reaksi antara air dan NaOH berjalan sempurna sehingga larutan tersebut dingin terlebih dahulu sebelum dicampurkan. Setelah larutan NaOH siap, kemudian campurkan dengan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  yang telah direncanakan, larutan alkali aktivator siap untuk digunakan. Tidak adanya acuan mengenai *mix design* untuk beton geopolimer pada SNI, maka *mixed design* campuran beton geopolimer dipilih dari penelitian sebelumnya yang dilakukan (Widyaningsih, 2022). *Mixed design* akan dilakukan dengan menggunakan perbandingan massa pada material penyusunnya.

Pengujian kuat tekan beton geopolimer dilakukan pada umur beton 3, 7 dan 28 hari, dengan sampel uji berbentuk silinder ukuran 10 cm x 20 cm. Metode *curing* yang dilakukan yaitu dengan pembasahan. Sampel beton geopolimer akan direndam terlebih dahulu sebelum dilakukan pengujian kuat tekan. Jumlah total sampel beton geopolimer yang akan diuji kuat tekannya yaitu 9 buah.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian kualitas material dilakukan sebelum pembuatan sampel uji dan sebelum pengecoran. Pengujian ini dilakukan pada material penyusun beton geopolimer seperti material pengisi (agregat kasar dan agregat halus) dan material pengikat (abu terbang). Baik agregat kasar maupun agregat halus; akan dilakukan pengujian berat isi, berat jenis, kadar air, kadar lumpur dan analisis saringan. Serta, juga akan dilakukan pengujian berat jenis pada abu terbang.

Pengujian kualitas material agregat kasar bertujuan untuk menjaga kualitas material penyusun beton geopolimer terhadap standar dan ketentuan yang telah ditetapkan dan berlaku. Hasil pengujian kualitas material agregat kasar dapat dilihat pada **Tabel 1** sedangkan hasil pengujian kualitas material agregat halus dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Pada **Tabel 1** menunjukkan hasil pengujian sifat fisik pada agregat kasar. Pada hasil pengujian tersebut ada parameter yang tidak memenuhi standar, yaitu pada pengujian kadar air lapangan didapat kandungan kadar air sebesar 1,5%. Berdasarkan SNI 15-1990-30 kadar air lapangan seharusnya berkisar 3% - 5%. Meskipun nilai kadar air tidak memenuhi standar (nilainya < 3%), agregat kasar tersebut tetap digunakan karena faktor pada saat mendapatkannya. Agregat kasar berada di ruang terbuka dan terpapar langsung oleh matahari, sehingga kandungan air yang terdapat di dalam agregat kasar menguap ataupun disebabkan oleh faktor lainnya.

Parameter lainnya yang tidak memenuhi standar yaitu kadar lumpur. Nilai kadar lumpur yang didapat yaitu 1,27%. Berdasarkan SNI 03-2461-2002 kadar lumpur seharusnya <1%. Hal ini dikarenakan keadaan awal agregat tersebut berada di ruang terbuka, sehingga terdapat kemungkinan ada debu yang menempel berakibat terhadap lumpur yang terkandung menjadi besar ataupun disebabkan oleh faktor lainnya.

**Tabel 1.** Hasil pengujian kualitas material agregat kasar

No.	Pengujian Material	Rerata	Spesifikasi	Keterangan
1.	Berat Jenis	2,74	2,1 - 2,9	Sesuai dengan SNI 1970:2008
	• <i>Apparent Specific Gravity</i>	2,62	2,1 - 2,9	
	• <i>Bulk Specific Gravity (Kering)</i>			
	• <i>Bulk Specific Gravity (SSD)</i>			
• Penyerapan (%)	2,66	2,1 - 2,9		
		1,63	< 5%	
2.	Kadar Air	3,52	3% - 5%	Sesuai dengan SNI 15-1990-30
3.	Berat Isi			Sesuai dengan SNI 03-4804-1998
	• Gembur (gr/cm <sup>3</sup> )	1,31	1,2 - 1,75	
	• Padat (gr/cm <sup>3</sup> )	1,48	1,2 - 1,75	
4.	Kadar Lumpur (%)	0,51	< 1%	
5.	Analisis Saringan	6,05	5,6% - 6,9%	Sesuai dengan SNI 03-1968-1990

**Tabel 2.** Hasil pengujian kualitas material agregat halus

No.	Pengujian Material	Rerata	Spesifikasi	Keterangan
1.	Berat Jenis	2,65	2,1 - 2,9	Sesuai dengan SNI 1970:2008
	• <i>Apparent Specific Gravity</i>	2,50	2,1 - 2,9	
	• <i>Bulk Specific Gravity (Kering)</i>			
	• <i>Bulk Specific Gravity (SSD)</i>			
• Penyerapan (%)	2,55	2,1 - 2,9		
		2,24	< 5%	
2.	Kadar Air	3,09	3% - 5%	Sesuai dengan SNI 15-1990-30
3.	Berat Isi			Sesuai dengan SNI 03-4804-1998
	• Gembur (gr/cm <sup>3</sup> )	1,55	1,2 - 1,75	
	• Padat (gr/cm <sup>3</sup> )	1,68	1,2 - 1,75	
4.	Kadar Lumpur (%)	3,21	< 5%	
5.	Analisis Saringan	3,74	2,3% - 3,1%	Sesuai dengan SNI 03-1968-1990

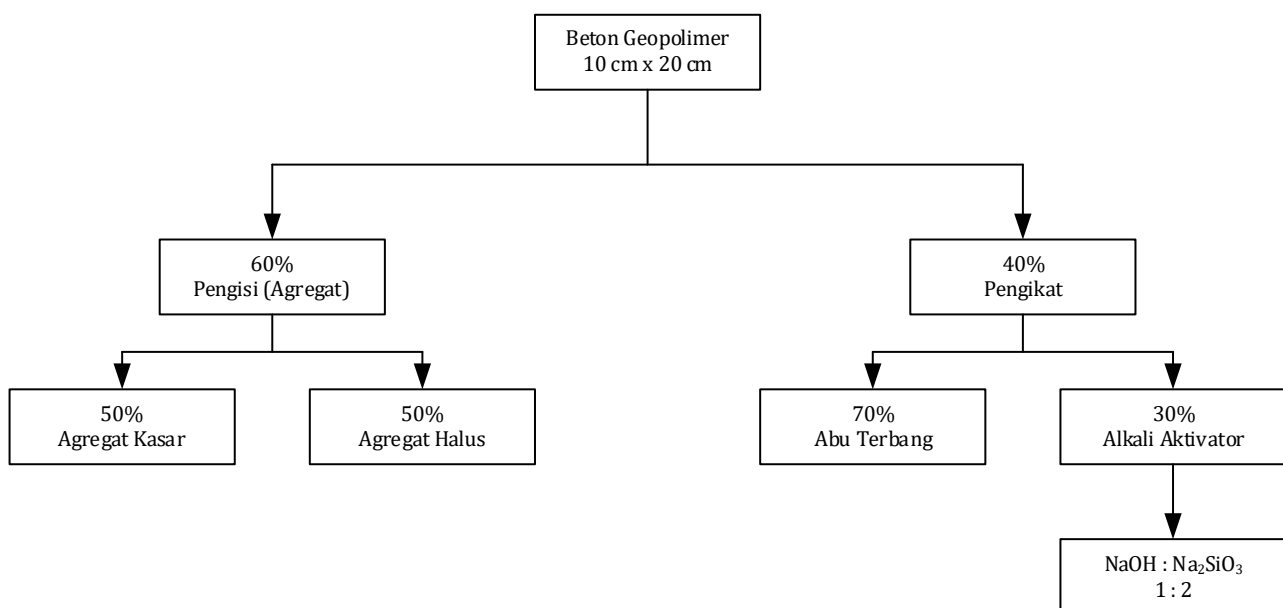
Pada **Tabel 2** menunjukkan hasil pengujian sifat fisik pada agregat halus. Pada hasil pengujian tersebut ada parameter yang tidak memenuhi standar, yaitu pada pengujian analisis saringan. Pada penelitian didapatkan nilai modulus kehalusan sebesar 3,74% lebih besar nilainya dibandingkan syarat SNI. Berdasarkan SNI 03-1968-1990 modulus kehalusan seharusnya berkisar 2,3% - 3,1%.

Pengujian kualitas material abu terbang bertujuan untuk mengetahui nilai berat jenisnya. **Tabel 3** menunjukkan hasil pengujian berat jenis pada abu terbang sudah memenuhi spesifikasi yang disyaratkan dalam SNI 03-2460-1991; nilai berat jenis abu terbang berada dalam rentang 1,9 - 2,55 yaitu 2,5.

**Tabel 3.** Hasil pengujian kualitas material abu terbang

No	Pengujian Material	Rerata	Spesifikasi	Keterangan
1.	Berat Jenis	2,5	1,9 - 2,55	Sesuai dengan SNI 03-2460-1991

Pada penelitian ini komposisi material penyusun beton geopolimer terdiri dari agregat kasar, agregat halus, abu terbang dan alkali aktivator (Davidots, 2008). Alkali aktivator merupakan gabungan dua larutan, yaitu Natrium silika ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) dan Natrium hidroksida ( $\text{NaOH}$ ) dengan molaritas 8M. Rasio larutan alkali aktivator yaitu 2:1. Komposisi beton geopolimer yang digunakan berdasarkan studi terdahulu dan modifikasi dari studi terdahulu itu sendiri. Rasio material pengisi (agregat kasar dan agregat halus) terhadap material pengikat (abu terbang dan alkali aktivator) sebesar 60%:40%, sedangkan rasio abu terbang terhadap alkali aktivator sebesar 70%:30%. Komposisi beton geopolimer dapat dilihat pada **Gambar 1** dan hasil mix design beton geopolimer dapat dilihat pada **Tabel 4** hingga **Tabel 5** (setiap benda uji dikalikan dengan faktor koreksi 1,1).

**Gambar 1.** Komposisi beton geopolimer**Tabel 4.** Proporsi komposisi benda uji beton geopolimer

n (buah)	AK (gram)	AH (gram)	AT (gram)	NaOH (gram)	Air (gram)	$\text{Na}_2\text{SiO}_3$ (gram)
1	1,482	0,942	1,100	0,031	0,095	0,251
3	4,446	2,825	3,299	0,093	0,284	0,754

**Tabel 5.** Proporsi komposisi benda uji beton geopolimer yang sudah dikalikan faktor koreksi

n (buah)	AK (gram)	AH (gram)	AT (gram)	NaOH (gram)	Air (gram)	$\text{Na}_2\text{SiO}_3$ (gram)
1	1,630	1,036	1,210	0,034	0,104	0,277
3	4,891	3,108	3,629	0,102	0,312	0,830

Pengujian *slump flow* dilakukan untuk mengetahui tingkat kemudahan pekerjaan (*workability*) pada campuran beton geopolimer segar. Pengujian *slump flow* dilakukan sebelum campuran beton geopolimer tersebut dicetak ke dalam cetakan silinder. Pada penelitian ini tidak terdapat *slump* rencana. Semakin besar nilai *slump flow*, maka beton geopolimer tersebut semakin encer dan semakin

mudah untuk dikerjakan. Sebaliknya, jika nilai *slump flow* semakin kecil maka beton geopolimer akan semakin sulit untuk dikerjakan. Hasil pengujian nilai *slump flow* dapat dilihat pada **Tabel 6**.

**Tabel 6.** Hasil pengujian *slump flow*

No	Tanggal	<i>Slump Flow</i> (cm)
1.	3 Agustus 2024	55

Pengujian *slump flow* dilakukan pada penelitian ini karena jika menggunakan pengujian *slump test* seperti pada beton normal tidak dapat dilakukan. Hal ini dikarenakan beton geopolimer segar tersebut tidak diam. Dari hasil pengujian *slump flow* menunjukkan bahwa beton geopolimer memiliki *workability* yang cukup tinggi. Berdasarkan teori, beton geopolimer tersebut encer. Namun berdasarkan kondisi pada saat pengerjaan, meskipun nilai *slump flow*-nya tinggi maka beton geopolimer segar tetap memiliki sifat yang kental dan lengket.

Berat volume beton geopolimer dihitung setelah melakukan metode perawatan dengan pembasahan, dengan membagi antara massa beton geopolimer dan volume beton geopolimer. Nilai berat volume beton geopolimer dapat dilihat pada **Tabel 7**.

**Tabel 7.** Hasil berat volume beton geopolimer

No	Umur (hari)	Berat Volume Beton Geopolimer (kg/m <sup>3</sup> )	Rerata (kg/m <sup>3</sup> )
	3	2.355,49	
1.	7	2.334,27	2.355,49
	28	2.376,21	

Pengujian kuat tekan beton geopolimer dilakukan bertujuan untuk mengetahui nilai kuat tekan beton geopolimer maksimum dengan metode *curing* pembasahan. Pada pengujian ini sampel yang akan diuji pada umur beton 3, 7, dan 28 hari; terdapat kuat tekan rencana sebesar 17 MPa benda uji berbentuk silinder yang dengan ukuran 10 cm x 20 cm. Pengujian kuat tekan beton geopolimer dapat dilihat pada **Gambar 2**.



**Gambar 2.** Pengujian kuat tekan beton geopolimer

Metode *curing* dengan pembasahan dilakukan setelah sampel uji beton geopolimer setelah sampel uji dikeluarkan dari cetakan. Proses metode *curing* ini dilakukan dengan memasukan sampel uji beton geopolimer ke dalam bak air untuk direndam selama umur beton dapat dilihat pada **Gambar 3**. Namun 3 hari sebelum dilakukan pengujian kuat tekan, sampel uji beton geopolimer diangkat dari bak

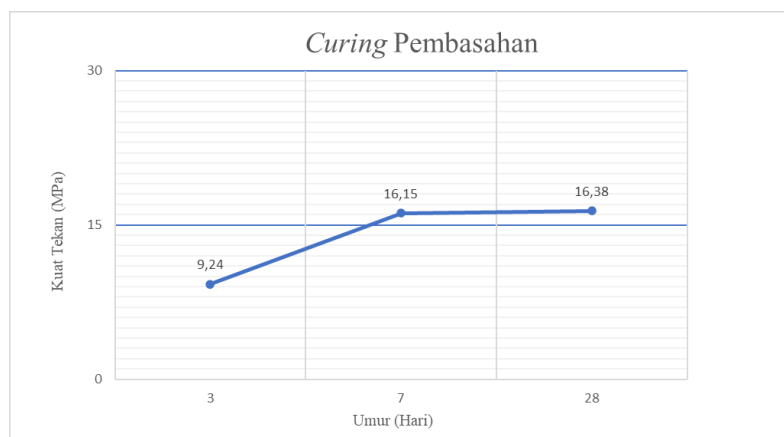
perendam. Kuat tekan beton geopolimer dengan metode *curing* pembasahan dapat dilihat pada **Tabel 8** dan **Gambar 4**.



**Gambar 3.** Proses metode perawatan beton geopolimer dengan metode pembasahan

**Tabel 8.** Hasil kuat beton geopolimer dengan metode perawatan pembasahan

No	Umur (hari)	Kuat Tekan (MPa)	Rerata (MPa)
1.	3	9,33	10,47
		*6,77	
		11,61	
2.	7	16,10	16,16
		14,55	
		17,80	
3.	28	*9,31	19,92
		18,60	
		21,24	



**Gambar 4.** Grafik peningkatan kuat tekan beton geopolimer dengan metode *curing* pembasahan

Beton geopolimer terbentuk dari reaksi kimia bukan reaksi hidrasi seperti yang biasanya terjadi pada beton konvensional atau beton semen. Reaksi kimia yang terjadi dalam proses pembentukan beton geopolimer dinamakan proses polikondensasi. Proses polikondensasi biasanya terjadi karena kandungan unsur silika dan alumina yang terdapat dalam beton geopolimer, serta bersifat endotermik. Endotermik merupakan ilmu yang mempelajari tentang perubahan energi yang terjadi akibat kimia. Secara singkat, endotermik dikenal sebagai proses penyerapan panas. Panas yang diserap selama proses polikondensasi inilah yang akan mengakibatkan beton geopolimer mengeras. Maka, metode *curing* yang dilakukan dengan pengaruh suhu tinggi pada beton geopolimer akan menghasilkan kuat tekan yang tinggi. Hal ini berbanding terbalik dengan beton geopolimer yang menggunakan metode *curing* pembasahan, ternyata mendapatkan kuat tekan beton geopolimer yang rendah.

#### 4. KESIMPULAN

Hasil kuat tekan beton geopolimer setelah dilakukan metode perawatan dengan pembasahan mengalami pola peningkatan pada kuat tekannya dari umur 3, 7, dan 28 hari. Akan tetapi, kuat tekan beton geopolimernya tidak memenuhi kekuatan beton struktural sebesar 17 MPa seperti tertera dalam SNI 2847:2019. Oleh karena itu, tidak dapat diaplikasikan untuk elemen struktural karena tidak memenuhi kekuatan dari mutu.

Untuk mendapatkan metode *curing* yang baik pada beton geopolimer sebaiknya perilaku *curing*-nya disamakan waktu, suhu dan durasinya. Di samping itu, untuk mengantisipasi bidang tekan yang tidak merata pada benda uji sehingga menyebabkan terjadinya pemusatan tegangan maka perlu dilakukan perataan pada permukaannya.

Dari hasil pengujian kuat tekan beton geopolimer dengan metode *curing* pembasahan menunjukkan terjadinya peningkatan kekuatannya dari umur 3, 7 dan 28 hari walaupun tidak signifikan. Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut dapat dilakukan mengenai pengujian kuat tekan beton geopolimer dengan umur sampel uji di atas 28 hari. Hal ini dilakukan dengan tujuan untuk melihat perkembangan kekuatan tekannya.

Beton geopolimer merupakan beton ramah lingkungan karena mengurangi penggunaan semen dan juga mampu mengurangi limbah hasil industri. Akan tetapi, dalam proses pembuatannya dibutuhkan larutan kimia campuran NaOH dan Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> halmana larutan tersebut tidak murah, sehingga perlu dilakukan penelitian lanjut mengenai tinjauan biaya yang dikeluarkan dalam pembuatan beton geopolimer.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (LPPM) Institut Teknologi Nasional (ITENAS) Bandung yang telah membantu keberlangsungan penelitian ini dengan Hibah Penelitian Dosen Pemula ITENAS (PDPI).

#### REFERENSI

- Achmad, D., et al. (2012). Efek Perawatan terhadap Karakteristik Beton Geopolimer. *POLI-TEKNOLOGI*, 11(1).
- ACI Committee 226. (1988). *Use of Fly Ash in Concrete*. Farmington Hills, MI: American Concrete Institute.
- Angelika, S. K., Desimaliana, E., & Khanza, M. (2023). Pengaruh Substitusi Parsial Variasi Tepung Kaca terhadap Kuat Tekan Beton Geopolimer. *RekaRacana: Jurnal Teknik Sipil*, 9(2).
- Davidovits, J. (1994). *Properties of Geopolymer Cements*. Kiev: Kiev State Technical University.
- Davidovits, J. (1997). *Geopolymer Inorganic Polymer New Material*. France: Geopolymer Institute.
- Davidovits, J. (1999). *Chemistry of geopolymer System, Terminology. Paper presented at the Geopolymer '99 International Conference*. France: Saint-Quentin.
- Davidovits, J. (2008). *Geopolymer: Chemistry and Application*. France: Geopolymer Institute.
- Desimaliana, E., Shima, R. D., & Musyaffa, F. (2024). Analisis Biaya terhadap Penggunaan Limbah Marmer dan Abu Sekam Padi pada Mortar Geopolimer. *JoSC: Journal of Sustainable Construction*, 3(2).
- Fansuri, H., et al. (2008). Pembuatan dan Karakterisasi Geopolimer dari Bahan Abu Layang PLTU Paiton. *Akta Kimindo*, 3(2).
- Hasner, K. E., Prihantono, & Musalamah, S. (2019). Variasi Campuran Alkali Aktivator pada Kuat Tekan Beton Geopolimer dengan Menggunakan Abu Cangkang Telur Bebek pada Proses Pengovenan. *Menara: Jurnal Teknik Sipil*, XIV(1).
- Hartono, J., et al. (2022). Komparasi Kuat Tekan Beton Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash dengan Metode Curing Oven dan Suhu Ruang. *Teras Jurnal*, 12(2).
- Hendriyani, S. D. A., & Herlina, L. (2019). Perbandingan Beton Geopolymer dengan Molaritas 10M Umur 28 Hari Curing Oven dan Suhu Ruang. *Seminar Intelektual Muda #2*.
- Manuahe, R., Sumajow, M. D. J., & Windah, R. S. (2014). Kuat Tekan Beton Geopolymer Berbahan Dasar Abu Terbang (Fly Ash). *Jurnal Sipil Statik*, 2(6).
- Prasetyo, G. B. (2015). *Pengaruh Temperatur Curing pada Sifat*. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Pratama, N. A., & Desimaliana, E. (2024). Pengaruh Substitusi Parsial Limbah Bata Ringan terhadap Kuat Tekan Mortar Geopolimer. *RekaRacana: Jurnal Teknik Sipil*, 10(1).
- Priyanka, N. F. (2016). *Tinjauan Kuat Tekan Beton Geopolymer dengan Fly Ash sebagai Bahan Pengganti Semen – Naskah Publikasi*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.
- Putri, A. A., & Herlina, L. (2021). Pengaruh Kuat Tekan Beton Geopolimer Mutu Tinggi Menggunakan Fly Ash Tipe

C. *Prosiding Seminat Intelektual Muda #6*, 3(1).

- Salain, I. M. A. K., Wiryasa, M. N. A., & Pamungkas, I. N. M. M. A. (2020). Kuat Tekan Beton Geopolimer Menggunakan Abu Terbang. *Jurnal Spektran*, 8(1).
- Setiawati, M. (2018). Fly Ash sebagai Bahan Pengganti Semen pada Beton. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi*.
- Sumajow, D. M. J., & Dapas, S. O. (2013). *Elemen Struktur Beton Bertulang Geopolymer*. Yogyakarta: ANDI.
- Tambingon, F. R., Sumajow, M. D. J., & Wallah, S. E. (2018). Kuat Tekan Beton Geopolymer dengan Perawatan Temperatur Ruangan. *Jurnal Sipil Statik*, 6(9).
- Tjoanto, R., Wallah, S. E., & Handono, B. D. (2021). Pengujian Kuat Tekan Beton Geopolimer dengan Penambahan Semen Putih pada Perawatan Suhu Ruang. *Jurnal Sipil Statik*, 9(4).
- Wallah, S. E. (2014). Pengaruh Perawatan dan Umur terhadap Kuat Tekan Beton Geopolimer Berbasis Abu Terbang. *Jurnal Ilmiah Media Engineering*, 4(1).
- Wang, J., Xie, J., Wang, C., Zhao, J., Liu, F., & Fang, C. (2020). Study on the optimum initial curing condition for fly ash and GGBS based geopolymer recycled aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 247(118540).
- Wardani, S. P. R. (2008). *Pemanfaatan Limbah Batubara (Fly Ash) untuk Stabilisasi Tanah maupun Keperluan Teknik Sipil Lainnya dalam Mengurangi Pencemaran Lingkungan – Pidato Pengukuhan Upacara Penerimaan Jabatan Guru Besar*. Semarang: Universitas Dipenogoro.
- Widyaningsih, E., Herbudiman, B., & Fauzi, F. F. (2022). Evaluasi Pengaruh Variasi Molaritas dan Rasio Alkali Aktivator terhadap Kuat Tekan Beton Geopolimer. *RekaRacana: Jurnal Teknik Sipil*, 8(3).
- Wulandari, T. (2016). *Kajian Temperatur Curing pada Kuat Tekan Beton Geopolimer Berbahan Dasar Kaolin – Tugas Akhir*. Jakarta: Universitas Negeri Jakarta.