

# Perbandingan Kuat Tekan Benda Uji Beton Geopolimer Dalam Skala Laboratorium Menggunakan Bahan Prekursor Yang Berbeda

Komang Nelly Sundari\*, Supriyadi, Arifin Siagian, IGA Suradharmika

BADAN RISET DAN INOVASI NASIONAL Kelompok Riset Keramik Fungsional Kreatif  
Jl. By Pass Ngurah Rai, Telp:0361-723969, fax: 0361-723867, Denpasar Bali, 8022215345

## Article Info

### Article history:

Received  
26 October 2022

Accepted  
09 Februari 2023

### Keywords:

geopolymer cement,  
PJT clay, DSB clay,  
LG clay, DAM clay.

## Abstract

This study aimed to compare the compressive strength of various concrete brick compositions made from geopolymers using different clay precursors, including Pejaten clay (PJT), Darmasaba clay (DSB), Waste Tile clay (LG), and dam sediment clay (DAM). Laboratory tests were carried out after 7 days of curing, and the results showed that PJT was the most suitable precursor material for producing geopolymer-based concrete formulas that meet the requirements for solid brick concrete quality class I, with an average compressive strength of 119,926 kg/cm<sup>2</sup>. The average value of SNI requirements is at least 100 kg/cm<sup>2</sup> based on SNI 03-0349-1989 for physical requirement quality standart of concrete bricks. DSB had a compressive strength of 88,808 kg/cm<sup>2</sup> and was classified as class II, followed by LG with a compressive strength of 76,366 kg/cm<sup>2</sup> and DAM with an average compressive strength of 70.71 kg/cm<sup>2</sup>, both of which belong to class II. These findings provide valuable insights into the use of different clay precursors for the production of high-quality concrete bricks.

## 1. PENDAHULUAN

Geopolimer merupakan semen yang diaktivasi dengan larutan alkali (Bayuseno, *et al*, 2010). Bahan baku yang terdiri dari aluminium dan silikon akan larut dalam larutan alkali yang tinggi. Selanjutnya unsur yang larut kemudian mengalami polimerisasi/polikondensasi untuk menghasilkan material dengan sifat mekanik yang diinginkan. Meskipun penelitian geopolimer telah lama dipublikasikan sebagai semen yang diaktivasi secara alkali atau semen alkali namun istilah geopolimer lebih umum digunakan sebagai pengganti nama semen alkali.

Geopolimer dapat dibuat dengan menggunakan bahan-bahan buangan yang mudah dijumpai pada kehidupan sehari-hari. Bahan yang mempunyai potensi besar untuk membuat geopolimer ini adalah lempung/lumpur hasil kerukan bendungan/dam. Selain itu ada potensi abu sampah organik yang mudah membusuk sebagai bahan tambahan pengurang kadar pengikat dalam beton. Jumlah keduanya melimpah dan keberadaannya merata di banyak tempat sehingga cukup ideal untuk dijadikan bahan baku produk. Selain itu, menurut Ekaputri (2021), beton geopolimer adalah Teknologi beton kuno sejak jaman Faraoh (Mesir kuno), yang tidak mengandung semen sama sekali, dibuktikan dengan

Piramida di Mesir. Bahannya bisa dari abu batubara, tanah lempung, slag, lumpur Sidoarjo, yang mengandung banyak silika dan alumina. Sebagai bahan pengikat (binder) geopolimer masih ada beberapa bahan lain yaitu fly ash, trass/tanah pozolan, serbuk Keramik, meta kaolin, blast furnace, slag, tanah liat, abu vulkanik dan buttom ash. Geopolimer disebut material ramah lingkungan karena menghasilkan paling sedikit emisi CO<sub>2</sub>.

Kemudian *sodium silikat* (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) dan *sodium hidroksida* (NaOH) digunakan sebagai alkali aktivator (Hardjito, *et al*, 2004), *Sodium silikat* mempunyai fungsi untuk mempercepat reaksi polimerisasi yang terjadi pada beton ataupun mortar geopolimer, sedangkan *sodium hidroksida* berfungsi untuk mereaksikan unsur-unsur Al dan Si yang tergantung dalam fly ash sehingga dapat menghasilkan ikatan polimer yang kuat, *Sodium silikat* terdapat dalam 2 bentuk, yaitu padatan dan larutan. Untuk campuran beton lebih banyak digunakan dalam bentuk larutan *sodium silikat* atau yang lebih dikenal dengan *water glass*. *Sodium silikat* ini merupakan salah satu larutan *alkali* yang memainkan peranan penting dalam proses pengerasannya.

Umumnya untuk merekatkan bahan satu sama lain adalah semen portland sehingga membentuk

\*Corresponding author. Komang Nelly Sundari  
Email address: nellysundari1959@gmail.com

suatu kesatuan batu yang padat dan kuat. Fungsi dari semen ini dapat digantikan oleh bahan-bahan lain, diantaranya adalah geopolimer. Geopolimer dapat bertindak sebagai perekat agregat dalam pembuatan beton. Kualitas beton yang dihasilkannya pun tidak kalah dibandingkan dengan semen biasa (Portland). Dengan mengganti pemakaian semen dengan geopolimer maka produksi semen akan dapat dikurangi.

(Fipatmasari, *et al.* 2013) dalam tulisannya, beton geopolimer merupakan beton dengan material dari bahan alami sebagai pengikat. Reaksi polimerisasi dalam proses pengerasannya. Studi terhadap material alami sebagai pengganti semen diperlukan sejalan dengan peningkatan pembangunan infrastruktur beton di dunia yang menyebabkan meningkatnya permintaan terhadap semen sebagai bahan pembentuk beton.

Bahan baku utama prekursor yang diperlukan untuk pembuatan semen geopolimer adalah bahan-bahan yang banyak mengandung unsur-unsur silika ( $\text{SiO}_2$ ) dan alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), salah satu bahan baku yang banyak mengandung unsur silika dan alumina adalah batu basalt yang komposisi kimianya  $\text{SiO}_2=40 - 55\%$  dan  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 12 - 17\%$  (Azwar, 2011).

Dari hasil analisa kimia bahan yang digunakan mempunyai kandungan kimia  $\text{SiO}_2$  dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  seperti pada Tabel 1.

**Tabel 1.**

Kandungan oksida kimia bahan yang digunakan.  
Sumber: Hasil uji lab BRIN Lampung

Bahan	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$
PJT	46,675	23,073
DSB	47,580	22,668
LG	46,171	21,668
DAM	49,505	15,124

Dari Tabel 1 tersebut menunjukkan bahwa kandungan oksida Silika ( $\text{SiO}_2$ ) dalam lempung PJT (Pejaten) sebesar 45,675%, lempung DSB (Darmasaba) 47,580%, lempung LB (Limbah Genteng) 46,171% dan lempung DAM (bendungan waduk) 49,505%. Demikian juga jumlah kandungan oksida alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) dalam bahan masing-masing: PJT 23,073%, DSB 22,668%, LG 21,668% dan DAM 15,124%.

Adapun tujuan yang hendak dicapai dari kegiatan pengujian bata beton berbahan Geopolimer sebagai pasangan dinding adalah untuk mengetahui bahan prekursor dari lempung mana dapat menghasilkan kuat tekan terbaik sesuai SNI yang berlaku (SNI 03-0349-1989)

dengan harapan nantinya dapat dikembangkan menjadi komuniti bahan pengganti semen geopolimer.

## 2. METODOLOGI

Diawali dengan mempersiapkan formula bata beton berbahan geopolimer untuk pasangan dinding. Formula yang dipersiapkan dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2.**  
Komposisi bata geopolimer

Bahan \ Sampel	PJT	DSB	LG	DAM
Agregat kasar	33,16	33,16	33,16	33,16
Agregat halus	14,21	14,21	14,21	14,21
Prekursor lempung PJT	31,21	-	-	-
Prekursor lempung DSB	-	31,21	-	-
Prekursor lempung LG	-	-	31,21	-
Prekursor lempung DAM	-	-	-	31,21
Larutan NaOH	4,09	4,09	4,09	4,09
Lautan $\text{Na}_2\text{SiO}_3$	10,22	10,22	10,22	10,22
SP	0,91	0,91	0,91	0,91
Air	6,19	6,19	6,19	6,19
TOTAL	100	100	100	100

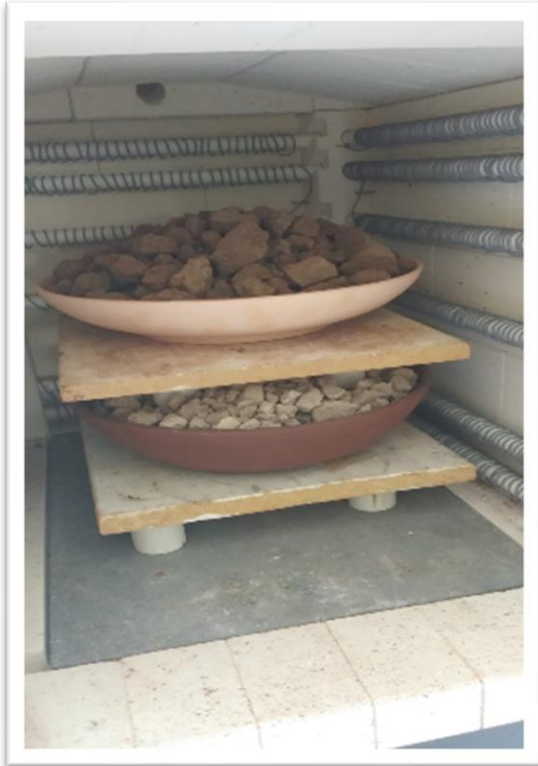
Dari Tabel 2 dapat dijelaskan bahwa masing-masing komposisi seperti PJT, DSB, LG dan DAM terdiri dari beberapa macam bahan dengan persentase jumlah berat yang sama namun yang membedakan hanya pada penggunaan bahan prekursornya.

Langkah awal penelitian/percobaan sebagai berikut:

### 2.1 Melakukan Optimasi Suhu Pembakaran Bahan Prekursor

Suhu kalsinasi bahan prekursor yang digunakan sebagai bahan semen geopolimer dalam penelitian ini adalah suhu  $750^\circ\text{C}$  selama 6 jam. (Reviola, 2015) mengatakan bahwa jenis mineral pada lempung Cengar yang dikalsinasi pada suhu  $700^\circ\text{C}$  selama 3 jam (LC700) adalah kaolinit, muskovit, monmorilonit, kalsit dan kuarsa.

Berdasarkan hasil tersebut lempung teraktivasi memiliki peluang untuk dapat digunakan sebagai adsorben. Peningkatan suhu kalsinasi menjadi 700°C menyebabkan berkurangnya jumlah senyawa organik pada lempung dan memperbanyak terbentuknya oksida logam (Syahroni, 2014 dalam Fiola Reviola, *et al*, 2015). Oleh karena itu dilakukan karakterisasi jenis mineral dan Si/Al residu lempung untuk mengetahui karakter dari lempung sehingga dapat dimanfaatkan kembali.



**Gambar 1.**

Kalsinasi lempung dalam tungku listrik mencapai suhu 750°C.

Semua bahan prekursor yang digunakan terlebih dahulu dipanaskan dalam oven hingga mencapai suhu 750°C seperti dapat dilihat pada Gambar 1.

## 2.2 Melakukan Optimasi Besar Butir/Kehalusan Butir Bahan Prekursor

Kehalusan butiran bahan prekursor yang akan diuji coba sebagai bahan semen geopolimer adalah 200 mesh. Kehalusan butir semen mempengaruhi proses hidrasi. Waktu pengikatan (setting time) menjadi semakin lama jika butir semen lebih kasar. Semakin halus butiran semen, proses hidrasinya semakin cepat, sehingga kekuatan awal tinggi dan kekuatan akhir akan berkurang. Kehalusan butiran semen yang tinggi dapat mengurangi terjadinya bleeding atau naiknya air permukaan, tetapi menambah kecenderungan beton untuk menyusut lebih banyak dan mempermudah terjadinya retak susut.

Untuk kehalusan semen, butiran semen yang lewat ayakan no.200 harus lebih dari 78% (Pratiwi, 2021).



**Gambar 2.**

Menyaring/mengayak dengan tingkat kehalusan tertentu (200 mesh). Semua bahan dihaluskan terlebih dahulu hingga mencapai kehalusan tertentu sebelum dibuat menjadi adonan campuran bahan bata geopolimer seperti dapat dilihat pada Gambar 2.

## 2.3 Membuat Larutan NaOH

Terlebih dahulu membuat larutan NaOH dengan konsentrasi 12 M (M=molar),

- Volume gelas beaker diisi air = 500ml
- Diketahui berat molekul NaOH = 40

$$M = \frac{\text{Masa NaOH}}{\text{Mr NaOH}} \times \frac{1000}{\text{Volume (ml)}}$$

$$12M = \frac{\text{Masa NaOH}}{40} \times \frac{1000}{500}$$

$$12 \times 40 = \frac{\text{Masa NaOH}}{2}$$

- Masa NaOH = 240 gram

Cara membuat larutan NaOH sebagai berikut:

- a. Timbang NaOH sebanyak 240 gram dalam gelas beaker.
- b. Tambahkan air (aquades) ke dalam gelas beaker hingga volume 500 ml

- c. Larutan diaduk dengan batang pengaduk hingga NaOH larut sempurna
- d. Setelah larutan tidak panas, dimasukkan ke dalam jerigen dan siap untuk digunakan.



**Gambar 3.**  
Membuat larutan NaOH.

Gambar 3 menunjukkan pembuatan larutan NaOH dari bentuk padat yang dilakukan untuk mempermudah dalam pencampuran semua bahan dalam komposisi

#### 2.4 Membuat Adonan Benda Uji

Membuat campuran bahan/adonan benda uji



**Gambar 4.**  
Tahapan proses membuat adonan

Keterangan:

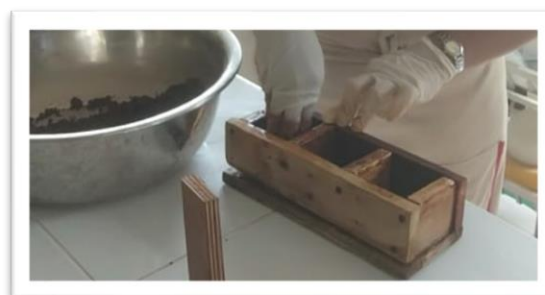
- a. Menimbang agregat dan prekursor
- b. Menimbang  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$
- c. Menimbang NaOH
- d. Menimbang SP

- e. Menyiapkan air
- f. Campuran bahan siap untuk di cetak

Proses pembuatan seperti ditunjukkan dalam Gambar 4.

Campur rata semua agregat kasar dan halus, lalu sisihkan. Pada wadah yang lain diisi bahan precursor sesuai dengan berat dalam komposisi/formula, lalu tuangi sedikit demi sedikit larutan NaOH yang telah dicampur dengan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  dan SP. Setelah tercampur rata tuangkan ke wadah agregat dan aduk sambil tuangi air sedikit demi sedikit hingga menjadi adonan yang melekat satu dengan yang lain dan siap untuk dicetak.

#### 2.5 Mencetak Benda Uji



**Gambar 5.**  
Mencetak benda uji pada cetakan

Setelah semua bahan tercampur rata sesuai dengan komposisi maka campuran/adonan tersebut dimasukkan ke dalam cetakan yang nantinya akan menjadi benda uji (Gambar 5).

#### 2.6 Membuka Benda Uji Dari Cetakan



**Gambar 6.**  
Membuka benda uji dari cetakan

Benda uji harus dikeluarkan dari cetakan setelah berumur 7 hari agar dapat dilakukan uji kuat tekannya. (Gambar 6).

## 2.7 Melakukan Pengujian Kuat Tekan Benda Uji

Prosedur Uji Kuat Tekan:

- Benda uji kubus berukuran 6x6x6 cm
- Contoh uji yang telah siap, ditekan hingga hancur dengan mesin penekan yang dapat diatur kecepatannya. Kecepatan penekanan dari mulai pemberian beban sampai contoh uji hancur, diatur dalam waktu 1 sampai 2 menit. Arah penekanan pada contoh uji disesuaikan dengan arah tekanan beban didalam pemakaiannya.
- Kuat tekan dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Kuat Tekan} = P/L$$

Dimana P = beban tekan,

N dan L = luas bidang tekan, mm<sup>2</sup>



**Gambar 7.**

Pengujian kuat tekan benda uji

Benda uji diletakkan kedalam alat lalu diatur kemampuan tekannya hingga benda uji mulai retak (Gambar 7).

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian kuat tekan benda uji berbentuk kubus dengan ukuran 6x6x6 (cm) dilakukan untuk mengetahui mutu beton geopolimer yang dihasilkan, lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel 3.

**Tabel 3.**

Syarat-syarat fisis bata beton.

Syarat Fisis	Saturan	Tingkat Mutu Bata Beton Pejal				Tingkat Mutu Bata Beton Berlobang			
		I	II	III	IV	I	II	III	IV
1. Kuat tekan bruto* rata-rata min.	kg/cm <sup>2</sup>	100	70	40	25	70	50	35	20
2. Kuat tekan bruto masing-masing benda uji min	kg/cm <sup>2</sup>	90	65	35	21	65	45	30	17
3. Penyeraan air rata-rata maks	%	25	35	-	-	25	35	-	-

Data Tabel 3 diambil dari Sumber SNI 03-0349-1989. Berdasarkan SNI 03-0349-1989 syarat mutu kuat tekan bata beton pejal adalah sebagai berikut:

- Mutu I: 100 kg/cm<sup>2</sup>
- Mutu II: 70 kg/cm<sup>2</sup>
- Mutu III: 40 kg/cm<sup>2</sup>
- Mutu IV: 25 kg/cm<sup>2</sup>

Benda uji yang dihasilkan adalah Benda uji bentuk kubus menggunakan prekursor lempung berbeda.



**Gambar 8.**

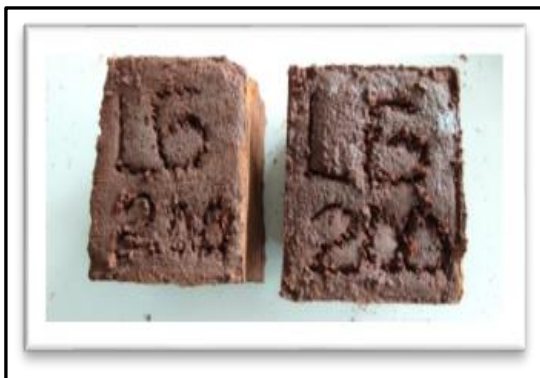
Benda uji PJT

Benda uji komposisi PJT yang telah berumur curing 7 hari siap untuk diuji kuat tekannya. (Gambar 8)



**Gambar 9.**  
Benda uji DBS

Benda uji komposisi DSB yang telah berumur curing 7 hari siap untuk diuji kuat tekannya (Gambar 9).



**Gambar 10.**  
Benda uji LG

Benda uji komposisi LG yang telah berumur curing 7 hari siap untuk diuji kuat tekannya (Gambar 10).



**Gambar 11.**  
Benda uji DAM

Benda uji komposisi DAM yang telah berumur curing 7 hari siap untuk diuji kuat tekannya (Gambar 11).

Untuk hasil uji kuat tekan dapat dilihat pada table 4.

**Tabel 4.**  
Hasil uji kuat tekan.

Sampel	PJT	DSB	LG	DAM
Penga matan				
Berat (gram)	445,9	491,9	453,7	334,9
Luas penampang (cm <sup>2</sup> )	36	36	36	36
Tanggal buat	23/5/22	24/5/22	27/5/22	25/5/22
Tanggal uji	30/5/22	31/5/22	2/6/22	2/6/22
Umur (hari)	7	7	7	7
Bacaan alat (KN)	42,4	31,4	34	25
Kuat tekan Mpa	11,77	8,72	7,49	6,94
Kuat tekan kg/cm <sup>2</sup>	119,92	88,808	76,36	70,71

Keterangan:  
PJT: lempung dari Pejaten  
DSB: lempung dari Darmasaba  
LG: lempung dari limbah genteng  
DAM: lempung bendungan waduk

Data dalam tabel 4 terlihat hasil kuat tekan benda uji kode PJT, DSB, LG dan DAM dalam rentang waktu umur curing time 7 hari menunjukkan benda uji kode PJT memberikan hasil tertinggi.

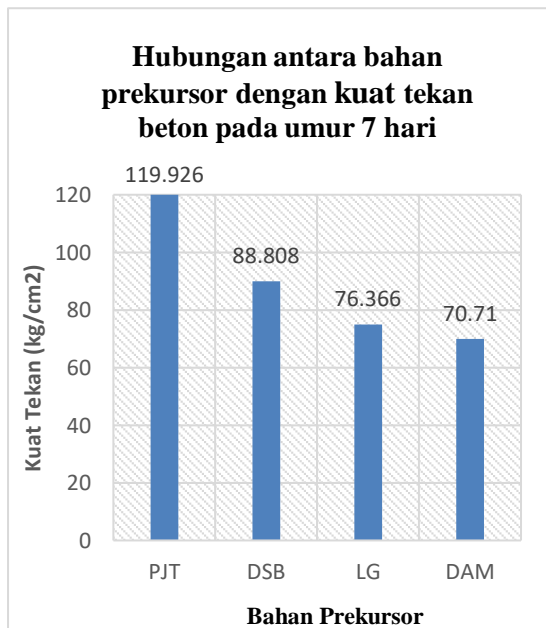
Contoh perhitungan:

$$\begin{aligned}
 \text{Rumus kuat tekan} &= \frac{\text{Gaya}}{\text{Luas penampang}} = \text{N/m}^2 \\
 &= \frac{25 \text{ KN (terbaca pada alat)}}{6 \times 6 \text{ (cm}^2\text{) ukuran kubus}} \\
 &= \frac{25.000 \text{ Newton}}{0,06 \times 0,06 \text{ (m}^2\text{)}} \\
 &= 6,944 \text{ N/m}^2 \\
 &= 6,944 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

6,944 Mpa menurut SNI hitungannya menjadi KgF/cm<sup>2</sup>

$$\begin{aligned}
 &= 6,944 \times \frac{100 \text{ (dari KgF/cm}^2\text{)}}{9,82 \text{ (percepatan gravitasi)}} \\
 &= 6,944 \times 10,18299 \\
 &= 70,71 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

Menurut Azwar (2011), bahwa bahan baku utama yang diperlukan untuk pembuatan semen geopolymer adalah bahan-bahan yang banyak mengandung unsur-unsur silika ( $\text{SiO}_2$ ) dan alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), salah satu bahan baku yang banyak mengandung unsur silika dan alumina adalah batu basalt yang komposisi kimianya  $\text{SiO}_2 = 40 - 55\%$  dan  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 12 - 17\%$ . Dari hasil analisa bahan precursor yang digunakan mempunyai kandungan kimia  $\text{SiO}_2$  dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  seperti terlihat pada Tabel 1 diatas sehingga penyebab kuatnya semen geopolimer mengikat agregat pada campuran bahan dalam komposisi yang dibuat juga berbeda. Kandungan  $\text{SiO}_2$  dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  pada lempung PJT sebagai precursor setelah bereaksi dengan cairan alkali (activator dari larutan  $\text{NaOH}$  dan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) memberikan hasil uji kuat tekan terbesar  $119,926 \text{ kg/cm}^2$  dibandingkan dengan yang lain.



**Gambar 12.** Hubungan antara bahan precursor dengan kuat tekan beton pada umur curing time 7 hari.

Gambar 12 menunjukkan bahwa benda uji menggunakan precursor dari lempung Pejaten menunjukkan hasil kuat tekan tertinggi disusul kemudian dengan precursor DSB, LG dan DAM.

Menurut Ekaputri dan Triwulan (2013), pembuatan semen geopolimer dengan menggunakan bahan abu terbang (fly ash) yang kaya silika dan alumina dan dapat bereaksi dengan cairan alkali dan dilakukan pembuatan dengan dicetak bentuk kubus dengan ukuran  $15 \times 15 \times 15 \text{ cm}$  dengan variasi curing time 4,8,12 dan 24 jam.

Berdasarkan penelitian bahwa semakin lama curing time maka semakin besar kuat tekan dengan optimum waktu 24 jam dengan nilai  $27,462 \text{ Mpa}$  (Manuahe, 2014). Artinya dengan curing time 7 hari, sampel benda uji kubus menunjukkan kekuatan tekan maksimal sebesar  $119,926 \text{ kg/cm}^2$  untuk PJT;  $88,808 \text{ kg/cm}^2$  untuk DSB;  $76,366 \text{ kg/cm}^2$  untuk LG dan  $70,71 \text{ kg/cm}^2$  untuk DAM. Menurut penelitian, semakin lama curing time maka semakin besar kuat tekannya. Jadi masih ada peluang nilai kuat tekan akan bertambah besar dengan curing time 14, 21, dan 28 hari.

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil uji coba penelitian dalam skala laboratorium, secara teknis dapat disimpulkan bahwa lempung asal Pejaten (PJT) sebagai bahan precursor dalam pembuatan formula beton berbahan geopolimer memenuhi persyaratan tingkat mutu bata beton pejal kelas I dengan angka kuat tekan rata-rata sebesar  $119,926 \text{ kg/cm}^2$  berdasarkan SNI 03-0349-1989 (syarat SNI nilai rata-rata minimal  $100 \text{ kg/cm}^2$ ). Kemudian diikuti oleh bahan precursor dari lempung Darmasaba (DSB) dengan kuat tekan  $88,808 \text{ kg/cm}^2$  tergolong kelas II, selanjutnya diikuti oleh bahan precursor dari lempung Limbah Genteng (LG) dengan kuat tekan  $76,366 \text{ kg/cm}^2$  tergolong kelas II, dan bahan precursor dari lempung DAM dengan angka kuat tekan rata-rata sebesar  $70,71 \text{ kg/cm}^2$  tergolong kelas II (berdasarkan SNI 03-0349-1989 nilai rata-rata minimal  $70 \text{ kg/cm}^2$ ).

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

1. Azwar, M, 2011. Geologi dan Mineralogi Tanah, Identifikasi Batuan. *Paper Mata Kuliah*, Yogyakarta: Fakultas Pertanian, Jurusan Tanah, Universitas Gajah Mada.
2. Fipatmasari, R.A., Ekaputri, J.J., dan Triwulan, 2013. Pasta Geopolimer Ringan berserat Dengan Bahan Lusi Bakar Dan Fly Ash Perbandingan 1 :1 dan Pengembang Aluminium Powder. *Jurnal Teknik POMITS*, 1: 1-5.
3. Badan Standarisasi Nasional. 1989. *Bata beton untuk pasangan dinding*. SNI 03-0349-1989. Badan Standarisasi Nasional Indonesia. Jakarta
4. Bayuseno, A.P., Widyanto, S.A., Juwanton. 2010. Sintesis Semen Geopolimer Berbahan Dasar Abu Vulkanik Dari Erupsi Gunung Merapi. *Rotasi Jurnal Teknik Mesin*, 12(4): 10-16.
5. Ekaputri, J.J., Triwulan. 2013. Sodium Sebagai Aktivator Fly Ash, Trass dan Lumpur Sidoarjo Dalam Beton Geopolimer. *Jurnal Teknik Sipil*, 20(1):1-10.

6. Ekaputri,J.J. 2021. *Beton Geopolimer: Material Maju Masa Depan*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
7. Hardjito, Djuwantoro., Wallah, S.E., Sumajouw, D.M.J., Rangan, B.V. 2004. On The Development of Fly Ash-Based Geopolymer Concrete. *ACI Materials Journals*, 101(6): 467-472.
8. Pratiwi, W.A. 2021. Analisa kuat tekan beton dengan menggunakan arang cangkang telur sebagai penambah semen. *Tugas Akhir*. Tasikmalaya, Jawa Barat: Universitas Siliwangi.
9. Reviola, F., Muhdarina, Nurhayati, 2015. Lempung Cengar Teraktivasi Asam Sulfat Sebagai Hasil Samping Produksi Koagulan: Karakterisasi. *JOM FMIPA*, 2(1): 63-69.
10. Manuahe, R., Sumajouw., M.D.J., Windah, R.S. 2014. Kuat Tekan Beton Geopolymer Berbahan Dasar Abu Terbang (Fly Ash). *Jurnal Sipil Statik*, 2(6): 277-282.