



## Pengaruh variasi alkali aktivator ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ dan $\text{NaOH}$ ) terhadap kuat tekan beton geopolimer

Anin Dita Kalsuma Putri <sup>a</sup>, Khodijah Al Qubro<sup>b,\*</sup>, Sartika Nisumanti<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Mahasiswa Program Studi S1 Teknik Sipil, Universitas Indo Global Mandiri, Jl. Jendral Sudirman No.629 KM.4, Palembang, Indonesia<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Jurusan Teknik Sipil, Universitas Indo Global Mandiri, Jl. Jendral Sudirman No.629 KM.4, Palembang, Indonesia

<sup>b</sup> Jurusan Teknik Sipil, Universitas Indo Global Mandiri, Jl. Jendral Sudirman No.629 KM.4, Palembang, Indonesia

### HIGHLIGHTS

- Beton geopolimer merupakan solusi alternatif untuk mengurangi pemanasan global yang dipengaruhi oleh industry beton karena dapat mengurangi pemakaian semen.
- Alkali aktivator yang digunakan adalah kombinasi *natrium hidroksida* ( $\text{NaOH}$ ) dan *natrium silikat* ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ).

### INFO ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diterima 27 April 2022

Diterima setelah diperbaiki 14 Juni 2022

Diterima untuk diterbitkan 17 Juli 2022

Tersedia secara *online* 01 Agustus 2022

Kata kunci:

Alkali aktivator,  
beton geopolimer,  
kuat tekan,  
pengujian *slump*.

### ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk menganalisis pengaruh variasi ( $\text{NaOH}$  dan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) terhadap uji kuat tekan beton geopolimer, menganalisis variasi alkali aktivator yang paling optimal, dan menganalisis pengaruh aktivator pada *fly ash* sebagai bahan pengikat terhadap pengujian *setting time* campuran beton geopolimer. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimen berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) dan *American Society for Testing and Materials* (ASTM). Hasil pengujian kuat tekan beton geopolimer didapat nilai kuat tekan tertinggi yaitu pada BG 12-1 sebesar 15,02 Mpa. Dengan penggunaan alkali aktivator 12 M perbandingan 1:2 ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3:\text{NaOH}$ ). Untuk pengujian *setting time* waktu ikat tercepat diperoleh oleh beton geopolimer 12 M dengan perbandingan 1:2 dengan *initial time* 131 menit dan *final time* 180 menit. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh alkali aktivator dengan perbandingan larutan  $\text{NaOH}$  lebih besar dibanding  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ , lebih berpengaruh terhadap nilai uji kuat tekan beton serta memiliki waktu ikat atau *setting time* yang cepat.

Diterbitkan oleh Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung

### 1. Pendahuluan

Beton merupakan campuran dari agregat halus, agregat kasar dan material pengikat berupa semen yang ditambah air [1]. Dalam pembangunan infrastruktur, beton sangat diperlukan sebagai material struktural utama ataupun penunjang, karena terkandung semen *Portland* yang mampu membentuk kekuatan pada beton.

Pemanasan global terus meningkat, dengan salah satu penghasil utama pemanasan global adalah industri beton yang mencapai 65%. Oleh sebab itu, maka diperlukan pengurangan pemakaian emisi  $\text{CO}_2$  dan pemanasan global [2, 3]. Oleh karena itu, untuk mengurangi penggunaan emisi  $\text{CO}_2$  dilakukan penelitian mengenai beton hijau atau beton yang ramah lingkungan, yaitu dengan mengurangi pemakaian semen atau mengganti semen pada campuran beton. Salah satu beton hijau yang masih dikembangkan sampai sekarang yaitu beton geopolimer [4].

\* Penulis koresponden.

Alamat E-mail: [khodijah@uigm.ac.id](mailto:khodijah@uigm.ac.id) (K. Al Qubro)

Peer review dibawah tanggung-jawab Jurusan Teknik Sipil, Universitas Lampung.

<https://doi.org/10.23960/rekrjits.v26i2.64>

Beton geopolimer adalah bahan atau material yang berupa zat anorganik yang disintesa melalui proses polimerisasi [5]. Beton geopolimer merupakan beton ramah lingkungan dengan bahan utama memanfaatkan limbah B3 *fly ash* batubara yang dijadikan sebagai pengganti semen [6]. *Fly ash* adalah produk yang lebih murah dari pada semen portland. *Fly ash* juga dikenal meningkatkan *workability* dan mengurangi suhu internal [7]. Semen yang digantikan dengan bahan alami, seperti material utama beton geopolimer, mengandung oksida silika dan alumunium yang tinggi. Material ini hanya dapat direaksikan menggunakan larutan alkali aktivator sehingga menjadi bahan pengikat beton geopolimer [6]. Alkali aktivator pada penelitian ini menggunakan kombinasi antara natrium hidroksida ( $\text{NaOH}$ ) dengan natrium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) [9].

Untuk mengetahui pengaruh variasi ( $\text{NaOH}$  dan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) terhadap uji kuat tekan dan pengujian *setting time* pada campuran beton geopolimer, maka dilakukan penelitian ini dengan tujuan untuk menganalisis pengaruh variasi ( $\text{NaOH}$  dan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) terhadap uji kuat tekan beton geopolimer, menganalisis variasi alkali aktivator yang paling optimal, dan menganalisis pengaruh aktivator pada

fly ash sebagai bahan pengikat terhadap pengujian *setting time* campuran beton geopolimer. *Setting time* merupakan suatu proses yang bertahap, waktu ikat awal (*initial set*) adalah waktu yang diperlukan oleh pasta semen untuk mengubah sifatnya dari kondisi cair menjadi padat dan waktu ikat akhir (*final set*) adalah waktu dimana penetrasi jarum vicat tidak terlihat secara visual [10].

## 2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil, Universitas Indo Global Mandiri. Metode yang digunakan adalah metode eksperimen. Pengujian material berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) dan American Society for Testing and Materials (ASTM). Material yang digunakan pada penelitian ini antara lain agregat halus dari daerah Tanjung Raja, agregat kasar dari daerah Bojonegoro, semen *Portland*, air suling (*aquadest*), *NaOH* (*sodium hidroksida*), *Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>* (*sodium silikat*), dan abu terbang (*fly ash*). Selanjutnya, tahapan-tahapan pengujian yang dilakukan, yaitu: pemeriksaan material aggregate (Tabel 1), pengujian *slump* dengan metode SNI 1972-2008 [11], pengujian *setting time* menggunakan metode ASTM C-191 [12], pengujian kuat tekan beton menggunakan metode SNI 1974:2011 [13] dan pengujian *curing* menggunakan metode SNI 03-2847-2002 [14].

**Tabel 1**  
Pengujian agregat

| No | Jenis pengujian                        | Metode pengujian |
|----|--|------------------|
| 1  | Kadar lumpur                           | SNI 03-4141-1996 |
| 2  | Analisa saringan                       | SNI 03-1968-1990 |
| 3  | Kadar air agregat                      | SNI 1971-2011    |
| 4  | Berat jenis & penyerapan agregat kasar | SNI 1969-2016    |
| 5  | Berat jenis & penyerapan agregat halus | SNI 1970-2008    |
| 6  | Berat isi agregat                      | SNI 1973-2008    |

Selanjutnya, pengujian pada agregat halus antara lain pengujian kadar organik, kadar lumpur, berat volume, kadar air, dan berat jenis. Pengujian ini dilakukan untuk membandingkan hasil data yang diuji dengan syarat yang ditentukan dalam SNI apakah agregat halus yang digunakan memenuhi standar atau tidak. Hasil rekapitulasi pengujian agregat halus disajikan pada Tabel 2.

**Tabel 2**  
Hasil rekapitulasi pengujian agregat halus

| Jenis pengujian                  | Metode        | Hasil                            |
|----------------------------------|---------------|----------------------------------|
| Kadar organik agr. halus         | SNI 2816:2014 | No. 2                            |
| Analisa saringan agr. halus      | ASTM C 33     | 2,58                             |
| Berat jenis SSD                  | Quality Plan  | 2,51                             |
| Penyerapan air pasir             | Quality Plan  | 2,17 %                           |
| Berat volume agr. halus          | Quality Plan  | 1377,33 kg/m <sup>3</sup>        |
| Kadar air agregat halus          | -             | 1,63%                            |
| Kadar lumpur agr. halus          | SNI 8321:2016 | 1,93 %                           |
| Pencucian kadar lumpur           | SNI 8321:2016 | Cuci 1 = 1,60%<br>Cuci 2 = 1,00% |
| Pengujian <i>clay lumps</i>      | ASTM C 33     | 2,0%                             |
| Pengujian <i>soundness</i> pasir | ASTM C 33     | 5,36%                            |
| <i>Void</i> Agregat Halus        | -             | 37,20%                           |

Tabel 2 menunjukkan kadar organik agregat halus memenuhi syarat SNI nomor 2 (jernih kuning). Pada hasil pengujian analisis saringan diperoleh *fine modulus (FM)* sebesar 2,58. Pengujian berat jenis dan penyerapan air diperoleh nilai sebesar 2,51 dan 2,17%. Pengujian berat volume didapat hasil rata-rata dalam keadaan padat dan

gembur sebesar 1377,63 kg/m<sup>3</sup>. Pengujian kadar lumpur diperoleh sebesar 1,93%, menurut SNI, kadar lumpur yang terkandung dalam agregat halus tidak boleh lebih dari 5%. Hasil pemeriksaan kadar lumpur agregat halus memiliki hasil yang lebih kurang dari 5% sehingga agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini tidak harus dicuci lagi. Sedangkan pengujian kadar air menunjukkan bahwa kadar air pada agregat halus adalah 1,63 %, dalam penelitian ini menggunakan referensi metode uji standar SNI 1971:2011 dan ASTM C 566.

Pengujian terhadap agregat kasar antara lain pengujian analisa saringan agregat kasar, berat jenis, pengujian penyerapan air, berat volume, kadar air dan kadar lumpur. Pengujian ini dilakukan untuk membandingkan antara hasil pengujian dengan standar SNI apakah hasil pengujian pada penelitian ini memenuhi atau tidak memenuhi. Hasil rekapitulasi pengujian agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 3.

**Tabel 3**  
Hasil rekapitulasi pengujian agregat kasar

| Jenis Pengujian                      | Metode Pengujian | Hasil   |
|--------------------------------------|------------------|---------|
| Analisa Saringan Agregat Kasar       | ASTM C 33        | 7,79    |
| Berat Jenis SSD                      | Quality Plan     | 2,63    |
| Penyerapan Air Agregat Kasar         | Quality Plan     | 0,84%   |
| Berat Volume Agregat Kasar           | Quality Plan     | 1413,33 |
| Kadar Air Agregat Kasar              | -                | 0,68%   |
| Kadar Lumpur Agregat Kasar           | SNI 8321:2016    | 0,89%   |
| Pencucian Kadar Lumpur Agregat Kasar | SNI 8321:2016    | 0,30%   |
| Abrasi Agregat Kasar                 | ASTM C 33        | 31,60%  |
| <i>Flakiness</i> Pada Agregat Kasar  | Quality Plan     | 15,59%  |
| <i>Clay Lumps</i> Pada Agregat Kasar | ASTM C 33        | 1,80%   |
| <i>Soundness</i> Pada Agregat Kasar  | ASTM C 33        | 11,21%  |
| <i>Angularity</i> Pada Agregat Kasar | -                | 9,42    |
| <i>Void</i> Pada Agregat Kasar       | -                | 38,60%  |

Berdasarkan Tabel 3 hasil pengujian analisis saringan diperoleh *fine modulus (FM)* sebesar 7,79. Pengujian berat jenis dan penyerapan air diperoleh nilai sebesar 2,63 dan 0,89%. Pengujian berat volume didapat hasil rata-rata dalam keadaan padat dan gembur sebesar 1413,33 kg/m<sup>3</sup>. Pengujian kadar lumpur diperoleh sebesar 0,68%, referensi metode uji menurut SNI 1971:2011. Pengujian kadar lumpur menunjukkan hasil pengujian ini mendapatkan nilai sebesar 0,89% yang dimana hasil pengujian lebih rendah atau tidak melebihi dari standar yang ditetapkan. Menurut SNI 8321:2016, Standar kadar lumpur ditetapkan maksimal sebesar 1%. Sehingga, agregat kasar ini dapat digunakan tidak harus dicuci kembali. Sedangkan hasil pengujian abrasi agregat kasar menunjukkan hasil pengujian abrasi pada agregat kasar sebesar 31,60%. Menurut ASTM C33, nilai yang disyaratkan dalam pengujian abrasi agregat kasar maksimal 40%. Sehingga hasil pengujian abrasi pada penelitian ini dinyatakan memenuhi karena tidak melebihi dari 40%.

Untuk mendapatkan data-data yang diperlukan dalam perencanaan *mix design* beton geopolimer, diperlukan juga pengujian terhadap material abu terbang (*fly ash*). Pengujian XRF dilakukan untuk mengetahui klasifikasi jenis *fly ash* yang digunakan dalam penelitian campuran beton ini. Pengujian XRF dilakukan di Laboratorium PT. Semen Baturaja dengan hasil disajikan pada Tabel 4. Terlihat bahwa kandungan mineral yang terdapat di dalam *fly ash SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>* sebesar 87,54% dengan kandungan *CaO* sebesar 3,75%, sehingga *fly ash* yang digunakan dalam penelitian ini termasuk jenis *fly ash* kelas F berdasarkan ASTM C618-19 [15].

**Tabel 4**

Hasil pengujian XRF

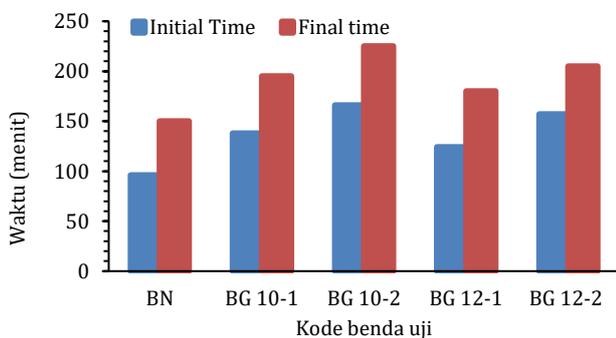
| No | Senyawa kimia                  | Persentase (%) |
|----|--------------------------------|----------------|
| 1  | SiO <sub>2</sub>               | 82,04          |
| 2  | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 3,7            |
| 3  | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 1,8            |
| 4  | CaO                            | 3,75           |
| 5  | MgO                            | 0,0095         |
| 6  | SO <sub>3</sub>                | 0,078          |

Dalam penelitian ini, benda uji dibagi dalam lima kategori yaitu BN, BG 10-1, BG 10-2, BG 12-1 dan BG 12-2. BN adalah beton normal, tidak ada kandungan molaritas ataupun komposisi alkali aktivator didalam campurannya. Pada beton normal hanya ada campuran agregat kasar, agregat halus, semen dan air. BG 10-1 merupakan beton geopolimer dengan 10 molaritas dan memiliki komposisi alkali aktivator dengan perbandingan 1:2 (1 = NaOH, 2 = Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>). Sedangkan BG 10-2 merupakan beton geopolimer dengan 10 molaritas dan memiliki komposisi alkali aktivator dengan perbandingan 2:1 (2 = NaOH 1 = Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>). Untuk BG 12-1 merupakan beton geopolimer dengan 12 molaritas dan memiliki komposisi alkali aktivator dengan perbandingan 1:2 (1 = NaOH 2 = Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>). Terakhir, BG 12-2 merupakan beton geopolimer dengan 12 molaritas dan memiliki komposisi alkali aktivator dengan perbandingan 2:1 (2 = NaOH 1 = Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>).

Benda uji untuk pengujian *setting time* dan *slump* berjumlah satu benda uji untuk masing-masing kategori. Sehingga jumlah benda uji untuk pengujian *setting time* berjumlah lima benda uji dan untuk pengujian *slump* berjumlah lima benda uji. Sedangkan untuk pengujian kuat tekan beton, beton diuji saat berumur 7, 14 dan 28 hari. Masing-masing umur pengujian dan kategori benda uji dibuat tiga benda uji. Sehingga total benda uji kuat tekan berjumlah 45 benda uji (5 kategori x 3 umur pengujian x 3 benda uji).

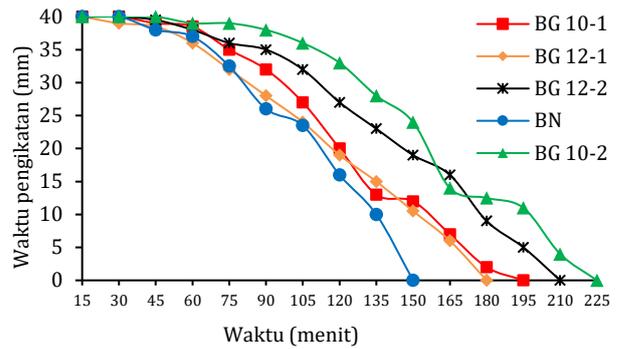
**3. Hasil dan Pembahasan**

Pengujian *setting time* ini berdasarkan standar yang disyaratkan ASTM C191. Hasil pengujian *setting time* dengan dua variasi dan dua perbandingan molaritas alkali aktivator dapat dilihat pada Gambar 1.



**Gambar 1** Hasil pengujian *setting time*

Penurunan bacaan jarum vicat berdasarkan *initial time* sampai *final time* dapat dilihat pada Gambar 2.



**Gambar 2** Bacaan waktu ikat *setting time*

Hasil pengujian *setting time* menunjukkan bahwa molaritas NaOH yang lebih besar mempengaruhi waktu ikat geopolimer. Waktu ikat tercepat diperoleh oleh beton geopolimer 12 M dengan perbandingan 1:2 (beton geopolimer dengan kandungan 12 molaritas di dalamnya dan memiliki komposisi alkali activator dengan perbandingan satu NaOH : dua Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>), dengan *initial time* 131 menit dan *final time* 180 menit. Sedangkan waktu ikat terlama pada beton geopolimer 10 M dengan perbandingan 2:1 dengan *initial time* 187 menit dan *final time* 225 menit. Berdasarkan hasil tersebut maka dapat disimpulkan bahwa semakin besar nilai molaritas maka semakin cepat waktu ikat yang dibutuhkan dan juga sebaliknya. Hasil pengujian *setting time* pada semen dengan *initial time* 90 menit dan *final time* 150 menit.

Selanjutnya, pengujian *slump* dilakukan untuk mengetahui kekentalan adukan beton yang akan digunakan agar mendapatkan atau mencapai kekuatan mutu beton dan mendapatkan nilai *slump* yang baik. Hasil pengujian *slump* dapat dilihat pada Tabel 5.

**Tabel 5**

Hasil pengujian *slump*

| No | Benda Uji | <i>Slump test</i> (cm) |
|----|-----------|------------------------|
| 1  | BN        | 12                     |
| 2  | BG 10-1   | 9                      |
| 3  | BG 10-2   | 10                     |
| 4  | BG 12-1   | 8                      |
| 5  | BG 12-2   | 9                      |

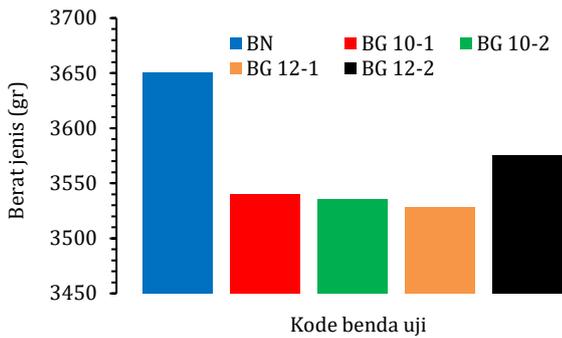
Pada penelitian ini, standar yang digunakan antara 8 cm – 12 cm. Tabel 5 menunjukkan bahwa nilai *slump* pada penelitian ini memenuhi standar.

Benda uji yang sudah mencapai waktu *curing* yaitu umur 7, 14, dan 28 hari. Hasil berat jenis beton dapat dilihat pada Tabel 6 dan Gambar 3.

**Tabel 6**

Hasil berat jenis beton

| Kode Sampel | Berat Jenis (Gram) |         |         |
|-------------|--------------------|---------|---------|
|             | 7 Hari             | 14 Hari | 28 Hari |
| BN          | 3540               | 3558    | 3650    |
| BG 10-1     | 3544               | 3542    | 3466    |
| Kode Sampel | Berat Jenis (Gram) |         |         |
|             | 7 Hari             | 14 Hari | 28 Hari |
| BG 10-2     | 3523               | 3554    | 3521    |
| BG 12-1     | 3512               | 3538    | 3528    |
| BG 12-2     | 3482               | 3495    | 3575    |



Gambar 3 Hasil pengujian berat Jenis Beton

Berdasarkan Gambar 3 dapat disimpulkan berat jenis beton pada umur 28 hari yang paling ringan adalah beton geopolimer 10M dengan perbandingan 1:2 ( $Na_2SiO_3$  dan  $NaOH$ ) dengan hasil 3502 gr. Sedangkan, berat jenis yang paling berat adalah beton normal yang hasilnya 3610 gr dan beton geopolimer 12M dengan perbandingan 2:1 (beton geopolimer dengan kandungan 12 molaritas di dalamnya dan memiliki komposisi alkali activator dengan perbandingan dua  $NaOH$  : satu  $Na_2SiO_3$ ), dengan hasil 3536 gr.

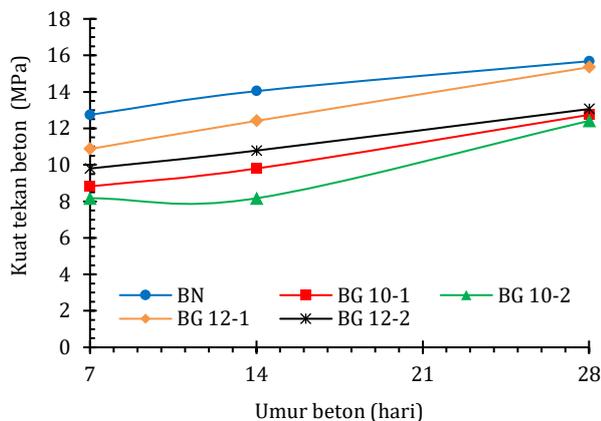
Kemudian, pengujian kuat beton dilakukan setelah masing-masing sampel sudah mencapai waktu *curing* 7, 14, dan 28 hari. Hasil dari pengujian kuat tekan beton dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7

Hasil pengujian kuat tekan beton (MPa)

| Kode Sampel | Umur Beton |         |         |
|-------------|------------|---------|---------|
|             | 7 Hari     | 14 Hari | 28 Hari |
| BN          | 12,19      | 14,15   | 15,68   |
| BG 10-1     | 7,51       | 9,80    | 11,43   |
| BG 10-2     | 8,82       | 8,17    | 12,19   |
| BG 12-1     | 11,43      | 12,41   | 15,02   |
| BG 12-2     | 11,43      | 10,78   | 13,06   |

Berdasarkan Tabel 7 kemudian dibuat grafik yang menggambarkan hubungan antara kuat tekan beton terhadap waktu *curing*. Besarnya nilai kuat tekan beton adalah berkisar antara 7,51 MPa – 15,68 MPa. Grafik kuat tekan beton dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Hasil pengujian kuat tekan beton

Tabel 7 dan Gambar 4 menunjukkan persentase kenaikan nilai kuat tekan BN pada umur 7 hari ke 14 hari sebesar 0,16%, dan persentase kenaikan nilai kuat tekan BN pada

umur 14 hari ke 28 hari sebesar 0,17%. Nilai kuat tekan rata-rata BG 10-1 pada umur 7 hari ke 14 hari mengalami kenaikan nilai kuat tekan sebesar 0,31% sedangkan pada umur 14 hari ke 28 hari mengalami kenaikan sebesar 0,16%. Nilai kuat tekan rata-rata BG 10-2 pada umur 7 hari ke 14 hari mengalami penurunan nilai kuat tekan sebesar 0,08% sedangkan pada umur 14 hari ke 28 hari mengalami kenaikan sebesar 0,49%. Nilai kuat tekan rata-rata BG 12-1 pada umur 7 hari ke 14 hari mengalami kenaikan nilai kuat tekan sebesar 0,08% sedangkan pada umur 14 hari ke 28 hari mengalami kenaikan sebesar 0,21%. Nilai kuat tekan rata-rata BG 12-2 pada umur 7 hari ke 14 hari mengalami penurunan nilai kuat tekan sebesar 0,06% sedangkan pada umur 14 hari ke 28 hari mengalami kenaikan sebesar 0,21%.

#### 4. Kesimpulan

Dari penelitian dan pengujian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa pengaruh alkali aktivator yang perbandingan larutan  $NaOH$  lebih besar dibanding  $Na_2SiO_3$ , lebih berpengaruh terhadap nilai uji kuat tekan beton. Hasil pengujian kuat tekan beton, beton geopolimer yang memiliki nilai kuat tekan yang paling tinggi adalah BG 12-1 sebesar 15,02 MPa. Dengan penggunaan alkali aktivator 12M perbandingan 1:2 ( $Na_2SiO_3:NaOH$ ) nilai waktu ikat lebih cepat sebesar 180 menit. Berat jenis yang paling ringan adalah BG 10-1 dengan hasil 3466 gr lebih ringan 0,053% dari pada BN. Sedangkan, berat jenis BG 12M-1 sebesar 3528 gr lebih ringan 0,035% dari pada BN. Maka, dapat disimpulkan bahwa nilai optimum dalam campuran beton adalah BG 12 Molar dengan perbandingan 1:2 ( $Na_2SiO_3:NaOH$ ). Dari hasil pengujian *setting time* alkali aktivator dengan *fly ash* sebagai bahan pengikat adalah hasil waktu ikat tercepat diperoleh oleh beton geopolimer 12 M dengan perbandingan 1:2 dengan initial time 131 menit dan *final time* 180 menit. Sedangkan waktu ikat terlama pada beton geopolimer 10 M 2:1 dengan *initial time* 187 menit dan *final time* 225 menit. Berdasarkan hasil tersebut maka dapat disimpulkan bahwa semakin banyak kadar penggunaan  $NaOH$  dan semakin besar nilai molaritas maka semakin cepat waktu ikat yang dibutuhkan dan juga sebaliknya.

#### Daftar Pustaka

- [1] Choiriyah S., Caroline J.: An Analysis of Concrete Test Weight with Different Water Cement Factors Using Histogram in Quality Management. IOP Conference Series: Material Science and Engineering, 462(1), 2019, doi: 10.1088/1757-899X/462/1/012043
- [2] Blaszczynski T., Maciej K.: Usage of Green Concrete Technology in Civil. Procedia Engineering, 122, 2015, 296-301. doi: 10.1016/j.proeng.2015.10.039
- [3] Vijai, K.: Properties of Glass Fibre Reinforced Geopolymer Concrete Composite. Asian Journal Of Civil Engineering (Building Housing), 2012, 511-520.
- [4] Cahyadi D.: Sifat Mekanik Dan Durabilitas Polypropylene Fiber Reinforced Geopolymer Concrete. Jurnal Teknik Sipil Sebelas Maret, 1(1), 2013,
- [5] Sumajouw, M. D. J., Pandaleke, R. E.: Optimalisasi Kuat Tekan Beton Geopolimer Dengan Menambahkan Semen Atau Kapur Pada Perawatan Temperatur Ruangan. Jurnal Sipil Statik, 7 (7), 2019. 749-756.
- [6] Denie C., Firdaus.: Analisa Pengaruh Aktivator Kalium Dan Kondisi Material Pada Beton Geopolimer Dari Limbah B3 Fly Ash Batubara Terhadap Kuat Tekan. Jurnal REKAYASA, 11(1), 2021, 1-16.

- [7] *Crouch, L. K., Ryan, H., Ben B.*: 2007. High Volume Fly Ash Concrete. World of Coal Ash.
- [8] *Zhuang X.Y., Chen L., Komarneni S., Zhou C.H., Tong D.S., Yang H.M., Yu W.H., Wang H.*: Fly ash-based geopolymer: clean production, properties and applications. J. Clean. Prod, 125, 2016, 253-267.
- [9] *Davidovits, J.*: Iroganic polymer new materials. Geopolymer Institut, Saint-Quentin, 1999
- [10] *SNI 03-6827-2002*. 2002. Metode Pengujian Waktu Ikut Awal Semen Portland dengan Menggunakan Alat Vicat untuk Pekerjaan Sipil, BSN.
- [11] *SNI 1972, 2008*. (2008). Metode uji untuk berat isi volume produksi campuran dan kadar udara. Badan Standardisasi Nasional. [16] *SNI 1972, 2008*. (2008). Metode uji untuk berat isi volume produksi campuran dan kadar udara. Badan Standardisasi Nasional.
- [12] *ASTM C191-04*: (2004). Standard Test Method For Of Setting of Hydraulic Cemen by Vicat Needle, ASTM International, West Conshocken, PA
- [13] *SNI 03-2847-2002*. (2002). Tata Cara Perhitungan Beton Untuk Bangunan Gedung. Badan Standardisasi Nasional.
- [14] *SNI 1974, 2011*. (2011). Metode uji untuk kuat tekan beton dengan bahan uji silinder. Badan Standardisasi Nasional.
- [15] *ASTM C618-19*: (2019). Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Badan Standardisasi Nasional.