

PENGARUH KADAR AKTIVATOR 0,43 DAN RASIO SS/SH (2,0-3,0) PADA BETON GEOPOLIMER DENGAN BAHAN DASAR *FLY ASH* TERHADAP KUAT TEKAN

Agus Setiya Budi*¹, Setiono², Masdiyar Akbar³

^{1,2,3} Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami 36A, Surakarta, Jawa Tengah; Telp 0271 646994

e-mail: *agussb@staff.uns.ac.id, setiono@staff.uns.ac.id, masdiharakbar@gmail.com

Abstract

An alternative to reduce carbon dioxide emissions is to replace cement with fly ash in geopolymer concrete. Geopolymer concrete is an alternative to reducing carbon dioxide emissions by replacing 100% cement with other materials such as fly ash and a combination of SS (sodium silicate) and SH (sodium hydroxide). This research can provide knowledge on how the slump and compressive strength of geopolymer concrete produced with the use of alkali activator: fly ash ratio of 0.43. The test object consisted of 5 samples of size 15 cm x 30 cm with SS/SH variation of 2.0; 2.5; 3.0. The workability test was conducted using the slump test, while the compressive strength was conducted using a compression testing machine. The slump test results of variations 2.0; 2.5; 3.0 were 18.5 cm, 18 cm, and 17 cm, respectively. In addition, the compressive strength values were 40.78 MPa; 44.97 MPa; 45.80 MPa, respectively.

Keywords—alkali activator, geopolymer concrete, fly ash, compressive strength.

1. PENDAHULUAN

Infrastruktur merupakan komponen penting dalam menunjang beberapa aspek seperti pertumbuhan ekonomi, peningkatan produktivitas, dan kesejahteraan masyarakat. Persentase pembangunan konstruksi menggunakan beton adalah 60 persen pada konstruksi perumahan, 80 persen pada konstruksi infrastruktur sumber daya air, dan 56 persen hingga 71 persen pada pembangunan infrastruktur jalan [1]. Mengacu pada data tersebut, keseluruhan infrastruktur fisik masih banyak menggunakan beton sebagai bahan pembuatan infrastruktur.

Persentase penggunaan bahan baku beton dalam pembangunan infrastruktur tidak menutup kemungkinan untuk selalu naik dari tahun ke tahun. Pelepasan produksi CO₂ dalam semen sekitar 1,5 miliar ton secara global, atau sekitar 9% dari total penyumbang emisi gas CO₂ di seluruh dunia [2]. Salah satu inovasi beton untuk mengurangi sumbangan emisi gas CO₂ adalah beton geopolimer. Beton geopolimer adalah jenis beton geosintetik yang terbentuk melalui reaksi polimerisasi, berbeda dengan beton biasa yang menggunakan reaksi hidrasi [3]. Material pengganti semen yang digunakan harus memiliki syarat yakni memiliki sifat *pozzolan*. *Pozzolan* merupakan bahan yang dapat ditemukan secara alami atau bahan buatan yang terdiri dari kebanyakan unsur silikat dan aluminat reaktif [4]. Contoh bahan - bahan yang dapat ditemui memiliki sifat *pozzolan* adalah tras alam, gilingan tanah liat yang dibakar, abu sekam padi, *fly ash*, dan masih banyak lagi.

Persyaratan kuat tekan beton (beton berat normal dan ringan) untuk umum adalah masing-masing minimum 17 MPa dengan tidak ada batasan nilai maksimum [5]. Selain itu nilai kuat tekan beton berat normal untuk Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) adalah minimum 21 MPa dengan tidak ada batasan nilai maksimum. Adanya syarat tersebut,

perancangan campuran beton geopolimer pada penelitian kali ini diharapkan dapat memenuhi syarat yang diberikan oleh SNI.

Hasil penelitian terdahulu didapat nilai kuat tekan tertinggi adalah menggunakan metode pembuatan secara terpisah [6]. Selain itu nilai kuat tekan juga dipengaruhi oleh metode *curing* yang digunakan. Perawatan *elevated temperature* menghasilkan nilai kuat tekan yang lebih tinggi dibanding dengan perawatan suhu kamar [7].

Studi yang didapat mendapati hasil bahwa molaritas NaOH yang direkomendasikan adalah sebesar 8-14 M dengan variasi SS/SH 1-2,5 [8]. Hal ini sejalan dengan studi yang menjelaskan bahwa nilai kuat tekan pada beton geopolimer akan naik hingga variasi SS/SH 2,5 dan selebihnya akan turun [9]. Meskipun begitu, dalam penelitian lain kuat tekan yang dihasilkan dalam beberapa variasi dengan molaritas 12 M dan 14 M menunjukkan nilai kenaikan hingga SS/SH 3,5 tetapi ada pula yang mendapati nilai puncak/optimum pada SS/SH 3,0 oleh [10]. Adanya hasil pada jurnal-jurnal yang diberikan membuktikan bahwa adanya perbedaan nilai optimum kuat tekan dalam variasi SS/SH yang digunakan.

Berdasarkan penelitian-penelitian terdahulu yang sudah tercantum, maka diperlukan pengujian kuat tekan dengan metode *curing* suhu ruang dapat memenuhi syarat Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) yakni minimal kuat tekan sebesar 21 MPa. Selain itu jurnal ini juga membahas pengaruh kenaikan variasi SS/SH 2,0-3,0 terhadap *workability* beton agar dapat mengetahui nilai *slump* yang didapat. Penelitian ini memberikan pengetahuan kepada pembaca dan peneliti dalam bidang beton geopolimer agar dapat memberikan gambaran lain nilai *slump* dan kuat tekan pada variasi SS/SH 2,0-3,0 dengan menggunakan perbandingan alkali aktivator : fly ash sebesar 30% : 70 %.

2. METODE PENELITIAN

Metodologi Penelitian

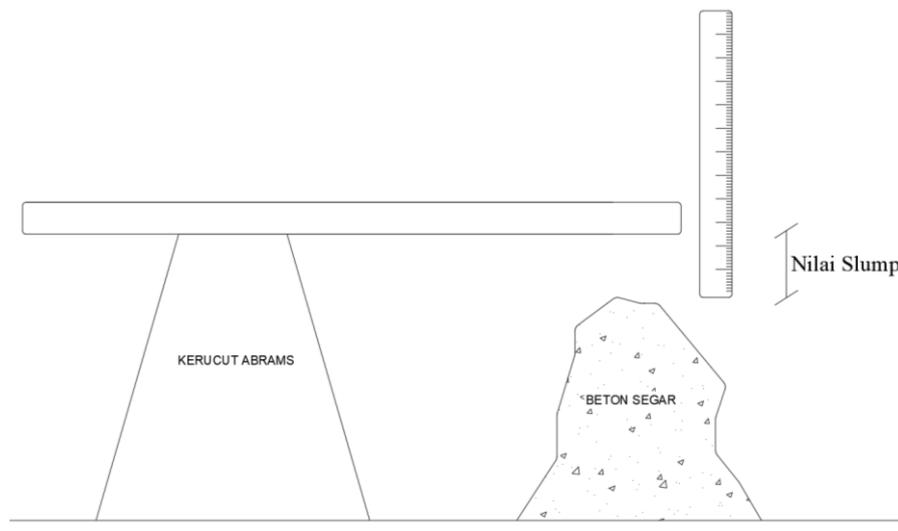
Metodologi penelitian ini merupakan kuantitatif dengan variasi SS/SH 2,0-3,0 dengan penggunaan nilai molaritas sodium hidroksida sebesar 10 M. Komposisi agregat terhadap binder sebesar 70% : 30% dan komposisi alkali aktivator dibanding *fly ash* adalah 30% : 70%. Kuat tekan diuji pada umur 28 hari dengan perawatan benda uji suhu ruang, dan sampel sebanyak 5 buah dengan benda uji berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Penamaan kode benda uji pada penelitian ini adalah 0,43GPC-SS/SH. Beberapa tahapan pada perencanaan penelitian ini antara lain:

- a) Tahap I Pengumpulan Teori
Pada tahap ini dilakukan pengumpulan teori penunjang untuk penelitian beton geopolimer yang biasa didapat dari berbagai referensi jurnal penelitian, buku, maupun skripsi yang berkaitan.
- b) Tahap II Persiapan
Tahap persiapan merupakan tahap untuk mempersiapkan alat dan bahan yang dibutuhkan sebelum penelitian dimulai.
- c) Tahap III Pengujian Bahan Dasar
Pengujian pasir, kerikil, dan bahan penyusun beton geopolimer lainnya dilakukan dan juga pembuatan larutan NaOH 10 M.
- d) Tahap IV Trial dan *Mixing*
Pembuatan benda uji mengacu pada rancang campur yang sudah dibuat. Tahap ini berguna untuk mengetahui apakah rancang campur dan metode pembuatan yang dipakai dapat menghasilkan sesuai spesifikasi yang diacu.
- e) Tahap V Pengujian Sampel Beton
Pengujian sampel dilakukan pada kondisi sampel segar dan sampel padat. Pengujian pada kondisi sampel segar yang dilakukan adalah uji *slump* untuk mengetahui *workability* beton geopolimer, sedangkan pengujian sampel padat yang dilakukan adalah uji kuat tekan menggunakan alat CTM.

- f) Tahap VI Pengolahan Data
Pengolahan data dilakukan untuk mengetahui nilai yang didapat pada benda uji beton geopolimer. Pada tahap ini dibantu dengan menggunakan program *microsoft excel*.

Pengujian *Workability* Beton Geopolimer

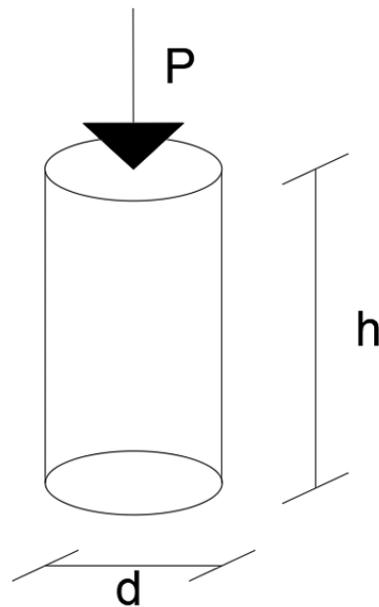
Pengujian *workability* yang dilakukan adalah menggunakan pengujian *slump*. Tujuan dari tes ini adalah untuk menilai seberapa mudahnya beton dalam pengerjaannya. Uji *slump* dilakukan dengan mengukur penurunan tinggi pada pusat permukaan atas beton [11]. Nilai ini akan merepresentasikan tingkat *workability* suatu beton. Semakin tinggi kandungan air dalam campuran beton, maka nilai *slump* akan semakin tinggi [12]. Sketsa pengujian *slump* ditampilkan pada gambar 1.



Gambar 1. Sketsa uji *slump* beton

Pengujian Kuat Tekan Beton Geopolimer

Pengujian kuat tekan dilakukan untuk mendapat hasil seberapa kuat beton menahan beban tekan per satuan luas. Setiap beton yang akan digunakan pasti akan melalui proses uji ini sehingga pengujian ini merupakan salah satu uji yang penting. kuat tekan umur 28 atau 56 hari dapat diuji untuk menghitung persentase campuran beton berkekuatan tinggi. Beberapa komponen yang memengaruhi kuat tekan beton adalah faktor air semen, nilai pengujian abrasi dari agregat, faktor agregat semen, dan perawatan beton [13]. Kuat tekan beton didapat melalui pengujian dengan cara memberi beban tekan yang semakin tinggi hingga benda uji mengalami keruntuhan. Ilustrasi uji kuat tekan ditampilkan pada gambar 2. dengan rumus yang digunakan untuk mendapatkan nilai kuat tekan beton adalah pada persamaan (1).



Gambar 2. Sketsa pengujian kuat tekan beton

$$f_c' = \frac{P}{A} \quad (1)$$

dengan :

- fc' = Nilai kuat tekan (MPa)
- P = Beban maksimum (N)
- A = Luas permukaan sampel (mm)

Uji Normalitas Data Kuat Tekan Beton Geopolimer

Uji normalitas digunakan untuk menilai apakah sebaran data pada pengujian kuat tekan terdistribusi normal atau tidak. Pada pengujian kuat tekan, uji normalitas data menggunakan uji liliefors. Langkah-langkah pengujian normalitas dengan menggunakan uji liliefors antara lain:

- a) Melakukan pengamatan/pengujian data ($x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$) dan mentransformasi dari angka ke notasi pada distribusi normal $z = \frac{x_i - \bar{X}}{STDEV}$ dengan (\bar{X} adalah rata-rata dan STDEV adalah standar deviasi,
- b) Setiap notasi diubah menjadi probabilitas kumulatif normal $F(x)$,
- c) Menghitung probabilitas kumulatif empiris yakni
$$S(x) = \frac{\text{total } z_1, z_2, z_3, \dots, < z_i}{n},$$
- d) Hitung nilai mutlak dengan selisih $F(x) - S(x)$,
- e) Ambil nilai paling besar dan bandingkan dengan nilai tabel liliefors. Ketentuan jika nilai maksimum $F(x) - S(x)$ lebih kecil dari tabel liliefors maka H_0 diterima.[14]

Pada penelitian ini menggunakan beberapa ketentuan yakni sebagai berikut:

- a) Hipotesis
 - H_0 = Data dari uji kuat tekan beton geopolimer berdistribusi normal
 - H_1 = Data dari uji kuat tekan beton geopolimer tidak berdistribusi normal
- b) Asumsi $\alpha = 0,05$
- c) Nilai tabel liliefors dengan lima sampel dan $\alpha = 0,05$ adalah 0,337

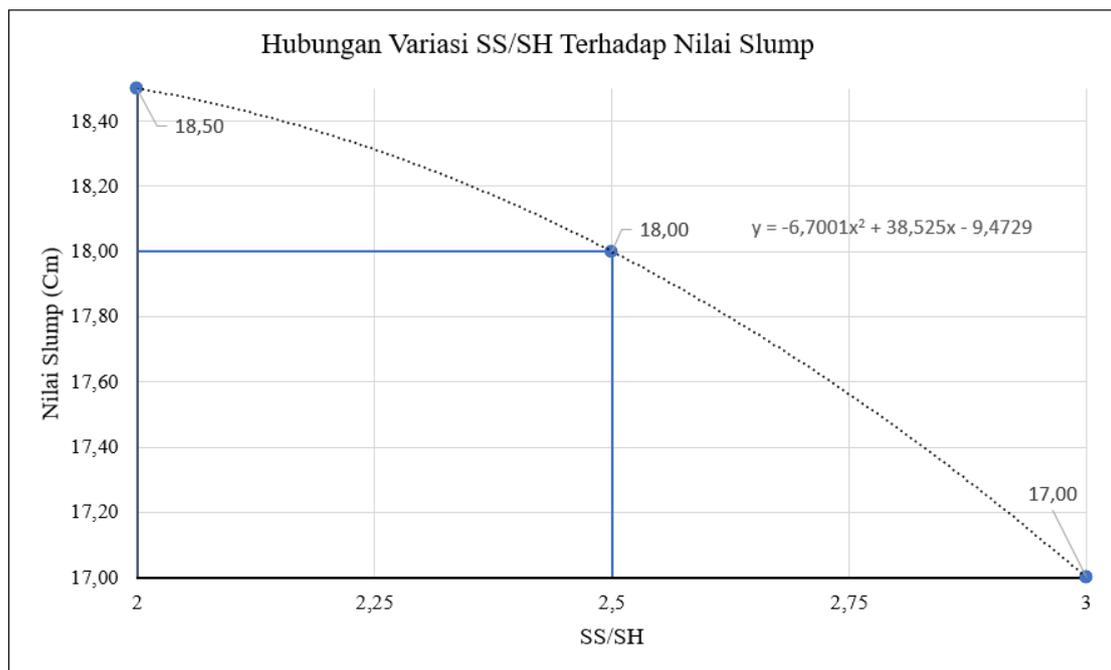
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Variasi SS/SH Terhadap *Workability* Beton Geopolimer

Data *workability* beton geopolimer didapat dari nilai *slump* beton. Hasil pengujian nilai *slump* beton geopolimer disajikan pada tabel 1 dan gambar 3.

Tabel 1. Nilai *slump* beton geopolimer

Kode	Variasi SS/SH	Nilai <i>Slump</i> (cm)
0,43GPC-2,0	2,0	18,5
0,43GPC-2,5	2,5	18
0,43GPC-3,0	3,0	17



Gambar 3 Hubungan variasi SS/SH terhadap *workability* beton geopolimer

Hasil pengujian nilai *slump* menunjukkan bahwa beton geopolimer memiliki *workability* yang cukup tinggi berdasarkan angka hasil uji *slump*. Nilai *slump* pada umumnya menurun seiring dengan meningkatnya rasio SS/SH. Hal ini dipengaruhi karena semakin tinggi kadar aktivator membuat *water content* yang ada dalam campuran menjadi semakin sedikit. *Water content* pada beton geopolimer merupakan jumlah total air yang terdapat pada larutan NaOH dan Na₂SiO₃ dibanding dengan padatan pada NaOH, Na₂SiO₃, dan *fly ash*. Hasil nilai *workability* ini juga didukung studi terdahulu bahwa dengan peningkatan rasio SS/SH menyebabkan kekentalan/viskositas mengalami peningkatan pula [15]. Peningkatan kekentalan/viskositas ini membuat nilai *slump* yang turun tetapi tidak signifikan.

Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Geopolimer

Pengujian kuat tekan beton dilakukan dengan sampel silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Pengujian menggunakan alat *Compression Testing Machine* (CTM) pada umur beton 28 hari. Pengujian nilai kuat tekan disajikan pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil uji kuat tekan beton geopolimer

Kode	Variasi SS/SH	Rata-Rata Kuat Tekan
0,43GPC-2,0	2,0	40,78
0,43GPC-2,5	2,5	44,97
0,43GPC-3,0	3,0	45,80

Setelah mendapatkan nilai kuat tekan maka diuji normalitas untuk mengetahui apakah data kuat tekan yang dihasilkan terdistribusi normal. Rekapitulasi uji normalitas disajikan pada tabel 3.

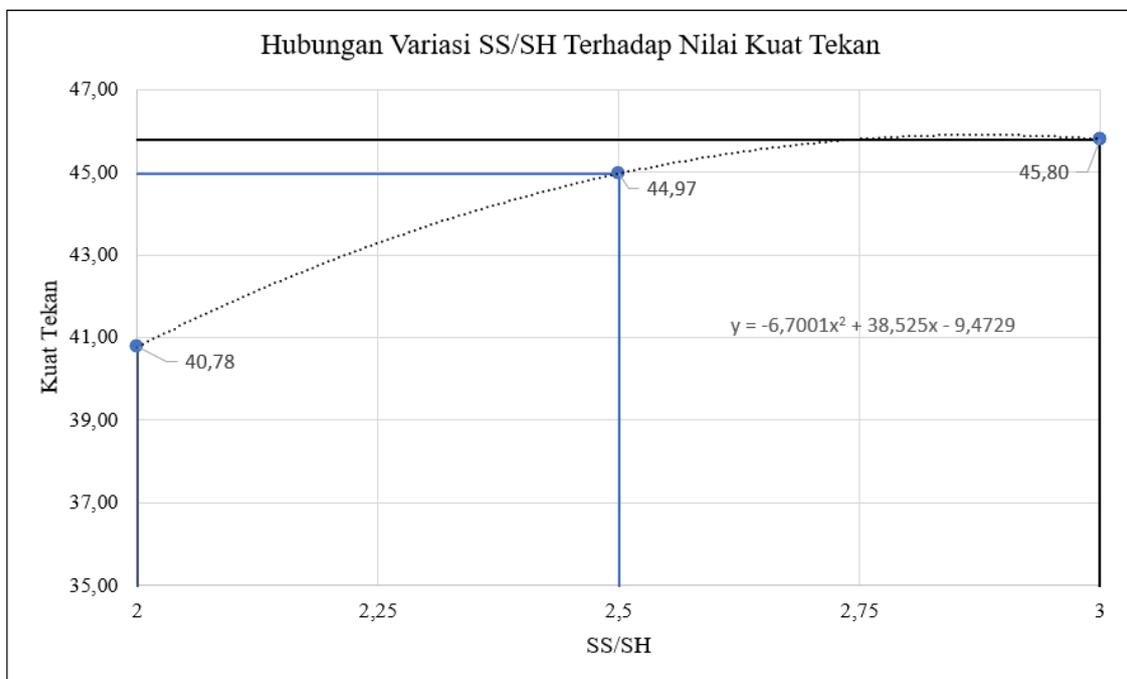
Tabel 3. Rekapitulasi perbandingan nilai F(X)-S(X) dengan nilai tabel liliefors

Kode	Max(F(X)-S(X))	Nilai Tabel Liliefors
0,43GPC-2,0	0,23	0,337
0,43GPC-2,5	0,19	0,337
0,43GPC-3,0	0,22	0,337

Berdasarkan hasil pengujian normalitas yang didapat maka dapat disimpulkan bahwa nilai tabel liliefors lebih besar dibanding nilai maksimum dari F(X)-S(X) sehingga data pengujian kuat tekan dari tiga kode yang dilakukan berdistribusi normal.

Pengaruh Variasi SS/SH Terhadap Kuat Tekan Beton Geopolimer

Nilai rata-rata dan grafik variasi SS/SH terhadap kuat tekan beton geopolimer disajikan pada gambar 4.



Gambar 4. Hubungan variasi SS/SH terhadap kuat tekan beton geopolimer

Berdasarkan hasil pengujian yang didapat, kuat tekan dari seluruh variasi SS/SH sudah melebihi syarat minimum kuat tekan pada SNI 2847 2019 yakni sebesar 21 Mpa untuk kategori

bangunan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Selain itu nilai kuat tekan pada dua variasi (2,5 dan 3,0) juga dapat dikategorikan dalam beton mutu tinggi yakni melebihi 41,4 Mpa berdasarkan SNI 03-6468-2000. Pada penelitian yang dilakukan ternyata mendapatkan hasil bahwa terdapat tren meningkatnya kuat tekan seiring dengan meningkatnya variasi SS/SH. Peningkatan yang terjadi menunjukkan bahwa Na_2SiO_3 memiliki peran penting dalam mempercepat ikatan polimerisasi pada beton [8]. Kenaikan kuat tekan ini juga disebabkan karena dengan perbandingan SS/SH yang semakin tinggi membuat unsur SiO_2 pada beton menjadi lebih tinggi. Meskipun penambahan Na_2SiO_3 memiliki pengaruh positif terhadap kuat tekan, namun pada variasi SS/SH 3,0 terjadi peningkatan yang tidak terlalu tinggi yakni hanya sebesar 1,8% terhadap variasi SS/SH 2,5 berbeda dengan kenaikan dari variasi SS/SH 2,0 menuju SS/SH 2,5 yang mencapai 10,27%.

4. KESIMPULAN

Bersumber pada temuan dan hasil analisis pada beton geopolimer dengan variasi SS/SH (2,0-3,0) didapat kesimpulan sebagai berikut :

- a) Variasi SS/SH pada kadar aktivator 0,43 dalam *workability* menghasilkan hasil yang kurang lebih sama dengan penelitian-penelitian sebelumnya. Dengan adanya kenaikan variasi SS/SH, dapat membuat *workability* beton geopolimer menjadi semakin turun. Nilai *workability* yang dihasilkan pada pengujian *slump* dengan variasi SS/SH 2,0 ; 2,5 ; dan 3,0 masing-masing adalah 18,5 cm, 18 cm, dan 17 cm.
- b) Variasi SS/SH pada kadar aktivator 0,43 dalam kuat tekan memberikan hasil nilai optimum pada SS/SH 3,0. Meskipun nilai kuat tekan pada SS/SH 3,0 tinggi tetapi peningkatan yang terjadi tidak terlalu signifikan dan hanya sebesar 1,8 %.. Nilai rata-rata kuat tekan yang dihasilkan pada variasi SS/SH 2,0 ; 2,5 ; dan 3,0 masing-masing adalah 40,78 MPa, 44,97 MPa, dan 45,80 MPa sehingga dapat digunakan dalam bangunan yang membutuhkan kuat tekan dengan mutu tinggi.

5. SARAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, beberapa saran untuk penelitian selanjutnya antara lain:

- a) Melakukan penelitian dengan variasi SS/SH lebih dari 3,0
- b) Melakukan penelitian menggunakan molaritas kurang dari 10 M untuk mengetahui apakah dengan molaritas yang kurang dari 10 M dapat menghasilkan nilai kuat tekan sesuai SNI 2847:2019. Saran ini diberikan karena dengan menurunkan molaritas NaOH maka proses pencampuran lebih aman karena larutan menjadi tidak terlalu korosi dan menyebabkan iritasi pada kulit.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang membantu dalam penelitian dan persiapan publikasi ini, terutama kepada Laboratorium Struktur dan Bahan Universitas Sebelas Maret atas bantuan pengujian-pengujian yang dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Cakti, "PUPR sebut tiga tren kebutuhan beton dalam pembangunan infrastruktur," antaranews.com. Accessed: Jun. 04, 2024. [Online]. Available: <https://www.antaranews.com/berita/3653016/pupr-sebuttiga-tren-kebutuhan-beton-dalam-pembangunan-infrastruktur>

- [2] M. Amran *et al.*, “Fly ash-based eco-efficient concretes: A comprehensive review of the short-term properties,” *Materials*. 2021. doi: 10.3390/ma14154264.
- [3] A. D. Anugrah, “Pengaruh Variasi Naoh Terhadap Na₂sio₃ Terhadap Kuat Tekan Dry Geopolymer Mortar Metode Dry Mixing Pada Kondisi Rasio Abu Terbang Terhadap Aktivator 4:1,” *Rekayasa Tek. Sipil*, vol. 3, no. 3, pp. 1–9, 2018, [Online]. Available: <https://jurnalmahasiswa.unesa.ac.id/index.php/23/article/view/26025/23843>
- [4] PUPR, “Persyaratan Umum Bahan Bangunan Di Indonesia (PUBI - 1982),” *Direktorat Penyelid. Masal. Bangunan*, 2014.
- [5] SNI 2847, “SNI 2847:2019 Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan,” *Sni 2847-2019*, 2019.
- [6] R. Miftahul, Ketut Aswatama Wiswamitra, and Dwi Nurtanto, “Perbandingan Metode Pembuatan Beton Geopolymer Terhadap Sifat Mekanik dan Porositas,” *Siklus J. Tek. Sipil*, vol. 8, no. 1, pp. 136–147, 2022, doi: 10.31849/siklus.v8i1.9250.
- [7] P. E. Panjaitan and L. Herlina, “Review Faktor - Faktor yang Mempengaruhi Karakteristik Kuat Tekan Beton Geopolimer,” *J. Rekayasa Konstr. Mek. Sipil*, vol. 03, no. 02, pp. 65–79, 2020, doi: 10.54367/jrkms.v3i2.858.
- [8] J. J. Ekaputri and T. Triwulan, “Sodium sebagai Aktivator Fly Ash, Trass dan Lumpur Sidoarjo dalam Beton Geopolimer,” *J. Tek. Sipil*, vol. 20, no. 1, p. 1, 2013, doi: 10.5614/jts.2013.20.1.1.
- [9] H. U. Ahmed *et al.*, “Compressive strength of sustainable geopolymer concrete composites: A state-of-the-art review,” *Sustain.*, vol. 13, no. 24, 2021, doi: 10.3390/su132413502.
- [10] A. K. Rao and D. R. Kumar, “Materials Today : Proceedings Effect of various alkaline binder ratio on geopolymer concrete under ambient curing condition,” *Mater. Today Proc.*, no. xxxx, pp. 10–15, 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2020.03.682.
- [11] SNI 03-1972-1990, “Metode Pengujian Slump Beton,” *Badan Standar Nas. Indones.*, vol. 1, no. ICS 91.100.30, pp. 1–12, 1990.
- [12] S. G. K, A. S. O, and M. J. N, “Investigating The Potential Use of Tuff Aggregates to Produce Lightweight Concrete,” *Int. J. Sci. Res. Publ.*, 2020, doi: 10.29322/ijsrp.10.09.2020.p10555.
- [13] R. Amelia, S. Suhendra, and K. R. Amalia, “Hubungan Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kuat Tekan Beton,” *J. Talent. Sipil*, vol. 4, no. 2, p. 225, 2021, doi: 10.33087/talentsipil.v4i2.79.
- [14] Nuryadi, T. D. Astuti, E. S. Utami, and M. Budiantara, *Buku Ajar Dasar-dasar Statistik Penelitian*. 2017.
- [15] P. Nath and P. K. Sarker, “Effect of GGBFS on setting, workability and early strength properties of fly ash geopolymer concrete cured in ambient condition,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 66, pp. 163–171, 2014, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2014.05.080.