



PENGARUH KADAR AKTIVATOR 0,43 DAN RASIO SS/SH (0,5-1,5) TERHADAP KUAT TEKAN BETON GEOPOLIMER BERBAHAN DASAR FLY ASH

EFFECT OF ACTIVATOR LEVEL 0.43 AND SS/SH RATIO (0.5-1.5) ON COMPRESSIVE STRENGTH OF FLY ASH-BASED GEOPOLYMER CONCRETE

Agus Setiya Budi^{1*}, Setiono², dan Muhammad Hayyu 'Alam³

(^{1,2,3}) Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret Surakarta

Jl. Ir. Sutami 36A, Surakarta, Jawa Tengah 57126

Abstrak

Beton merupakan bahan utama yang umum dipakai dalam proyek-proyek infrastruktur. Peningkatan pembangunan infrastruktur berbanding lurus dengan meningkatnya kebutuhan akan semen sebagai bahan pengikat. Sayangnya, produksi semen menjadi salah satu kontributor utama emisi CO₂. Beton geopolimer mengadopsi abu terbang (*fly ash*), hasil samping dari pembakaran batu bara, sebagai alternatif bahan pengikat semen dalam matriks betonnya. Fly ash berperan sebagai prekursor pada reaksi kimia dalam beton geopolimer. Oleh karena itu, dibutuhkan aktivator untuk mereaksikan silika dan alumina pada fly ash agar mampu membentuk material dengan kemampuan merekatkan yang kuat. Aktivator yang digunakan adalah sodium silikat (SS) dan sodium hidroksida (SH). Pada penelitian ini diselidiki kuat tekan beton geopolimer pada sejumlah benda uji berbentuk silinder 15 cm x 30 cm dengan variasi perbandingan Na₂SiO₃ (sodium silikat) terhadap NaOH (sodium hidroksida) 0,5; 1,0; dan 1,5 pada suhu ruang dengan umur 28 hari. Hasil studi menunjukkan kuat tekan optimum diperoleh beton geopolimer dengan rasio sodium silikat terhadap sodium hidroksida 1,5 sebesar 41,13 MPa. Sedangkan pada rasio sodium silikat terhadap sodium hidroksida 0,5 dan 1,0 didapatkan hasil kuat tekan berturut-turut 33,61 MPa dan 34,33 MPa. Dengan demikian, peningkatan rasio sodium silikat terhadap sodium hidroksida berpengaruh terhadap nilai kuat tekan beton geopolimer.

Kata Kunci: geopolimer, fly ash, alkali aktivator, kuat tekan

Abstract

Concrete is the primary material commonly used in infrastructure projects. As infrastructure projects increase, so does the demand for cement, the binding material in concrete. However, cement production emits significant amounts of CO₂. Geopolymer concrete does not use cement; instead, it utilizes fly ash, a byproduct of coal combustion rich in silica and alumina. Fly ash acts as a precursor in the chemical reactions of geopolymer concrete. Suitable activators are needed to react with the silica and alumina in fly ash, creating a material with properties similar to cement. The activators used are sodium silicate (SS) and sodium hydroxide (SH). This study investigates the compressive strength of geopolymer concrete in several cylindrical specimens (15 cm x 30 cm) with varying ratios of Na₂SiO₃ (sodium silicate) to NaOH (sodium hydroxide) at 0.5, 1.0, and 1.5, tested at room temperature after 28 days. The results showed that the optimum compressive strength was achieved with a sodium silicate to sodium hydroxide ratio of 1.5, yielding 41.13 MPa. Meanwhile, the compressive strengths for the 0.5 and 1.0 ratios were 33.61 MPa and 34.33 MPa, respectively. Therefore, increasing the sodium silicate to sodium hydroxide ratio 0.5-1.5 significantly affects the compressive strength of geopolymer concrete.

Keywords: geopolymer, fly ash, alkali activator, compressive strength

PENDAHULUAN

Dalam beberapa tahun terakhir, peran infrastruktur telah mendapat perhatian yang meningkat dengan digencarkannya pembangunan infrastruktur diberbagai kawasan. Peran beton dalam pembangunan infrastruktur, mulai dari gedung

bertingkat hingga jalan raya, sangat signifikan. Sifat-sifat beton yang unggul seperti kekuatan tekan yang tinggi dan mudah dibentuk membuat beton menjadi material yang tak tergantikan. Hal ini menyebabkan permintaan akan beton terus meningkat seiring dengan pertumbuhan sektor konstruksi.

Semen sebagai bahan pengikat dalam pembuatan

(*)Corresponding author

Telp :
E-mail : agussb@staff.uns.ac.id

<http://doi.org/10.33506/rb.v10i2.3712>

Received 05 September 2025; Accepted 23 Oktober 2024; Available online 30 April 2025

E-ISSN: 2614-4344 P-ISSN: 2476-8928

beton menghasilkan gas emisi CO₂ yang cukup besar dalam produksinya. Menurut (Davidovits, 1994) setiap satu ton semen yang diproduksi menghasilkan 0,55 ton emisi CO₂ dan memerlukan bahan bakar karbon yang menyumbang tambahan 0,40 ton CO₂. Dengan kata lain, satu ton emisi CO₂ akan dihasilkan ketika satu ton semen diproduksi.

Beton geopolimer merupakan jenis beton yang sepenuhnya menghilangkan penggunaan semen. Sebagai alternatif semen, beton geopolimer memanfaatkan abu terbang, yang merupakan hasil samping dari proses pembakaran batu bara. Beton ini terbentuk melalui reaksi polimerisasi, berbeda dengan beton konvensional yang terbentuk melalui proses hidrasi.

Fly ash adalah limbah hasil pembakaran batu bara pada tungku Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang berbentuk halus, bundar dan bersifat pozzolanik (Badan Standarisasi Nasional, 2002). *Fly ash*, residu halus dari pembakaran batu bara bersifat pozzolan karena mengandung unsur kimia silikon dioksida (SiO₂) dan aluminium oksida (Al₂O₃) yang tinggi.

Fly ash berperan sebagai prekursor pada reaksi kimia yang terjadi dalam beton geopolimer. Oleh karena itu, dibutuhkan alkali aktivator yang sesuai untuk mereaksikan silika dan alumina pada *fly ash* agar mampu menghasilkan material dengan sifat mengikat seperti semen. Kombinasi larutan NaOH (SH) dengan konsentrasi 8M hingga 14M dan Na₂SiO₃ (SS) dengan rasio dari 0,4 sampai 2,5 adalah alkali aktivator yang sering digunakan (Hardjito & Rangan, 2005).

Kekuatan tekan beton geopolimer yang terbuat dari abu terbang dapat dipengaruhi oleh sejumlah faktor antara lain kualitas agregat, temperatur *curing*, molaritas NaOH, kadar aktivator, dan modulus alkali. Pada penelitian ini diselidiki pengaruh kadar aktivator 0,43 dan rasio SS/SH 0,5; 1,0; dan 1,5 terhadap kuat tekan beton geopolimer.

TINJAUAN PUSTAKA

Dasar Teori

Proses pembentukan bahan pengikat dalam beton geopolimer bukan melalui proses hidrasi seperti pada beton konvensional, melainkan melalui reaksi polimerisasi. Menurut (Davidovits, 1991) interaksi mineral alkali dengan Si dan Al menghasilkan pembentukan rantai polimer tiga dimensi serta ikatan struktural Si – O – Al – O yang teratur selama proses polimerisasi beton geopolimer. Sebagai alkali aktivator, natrium hidroksida bekerja menciptakan ikatan polimer yang kuat dengan bereaksi dengan komponen Aluminium dan Silika dalam abu terbang, disisi lain, natrium silikat mempercepat proses

pembentukan polimer (Tambingon dkk., 2018).

(Ekaputri & Triwulan, 2013) menyelidiki dan mengkaji kualitas mekanik trass dan lumpur Sidoarjo (Lusi) sebagai pengganti *fly ash* pada komposisi pasta (*binder*). Variasi binder terdiri dari 100% *fly ash*, 75% *fly ash* dan 25% lusi kering, 75% *fly ash* dan 25% lusi bakar, serta 75% *fly ash* dan 25% trass. Hasil penelitian yang dilakukan menemukan nilai kuat tekan tertinggi didapatkan pada binder dengan 100% *fly ash* pada umur 28 hari, dengan nilai kuat tekan sebesar 51,3 MPa.

Studi literatur yang dilakukan (Panjaitan & Herlina, 2020), menunjukkan bahwa kuat tekan resultan beton geopolimer berbahan dasar *fly ash* sangat dipengaruhi oleh suhu, waktu *curing*, molaritas NaOH, dan rasio sodium silikat terhadap sodium hidroksida. Kekuatan tekan beton akan meningkat karena molaritas NaOH yang lebih besar, yang juga mempercepat ikatan awal beton. Suhu *curing* yang lebih tinggi pada beton geopolimer menghasilkan nilai kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan *curing* pada suhu ruangan.

METODE

Benda uji berupa silinder berukuran 15 cm x 30 cm. Proses perawatan (*curing*) beton dilakukan pada kondisi suhu ruang dan pengujian dilakukan setelah mencapai umur 28 hari. Dalam penelitian ini, terdapat tiga variasi perbandingan Na₂SiO₃ (sodium silikat) dan NaOH, yaitu 0,5:1; 1:1; dan 1,5:1. Larutan sodium hidroksida yang digunakan memiliki konsentrasi 10 molar. Sampel yang digunakan berjumlah lima pada setiap variasi. Rincian sampel uji dapat ditampilkan pada Tabel 1.

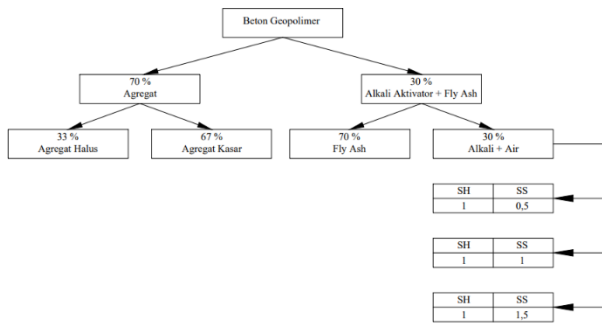
Tabel 1. Rincian Spesimen Uji Beton Geopolimer

<i>Binder</i>		SS/SH	Umur (hari)	Jumlah Benda Uji
Alkali Aktivator (%)	<i>Fly ash</i> (%)			
30	70	0,5	28	5
30	70	1,0	28	5
30	70	1,5	28	5

Sumber: Diadaptasi dari (Ekaputri & Triwulan, 2013), dengan modifikasi oleh penulis

Mix design Beton Geopolimer

Rancang campur (*mix design*) direncanakan berdasarkan hasil penelitian terdahulu dan pengujian trial atau pra-penelitian. Diagram alir rancang campur divisualisasikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Rancang campur beton geopolimer
Sumber: Diadaptasi dari (Ekaputri & Triwulan, 2013), dengan modifikasi dari penulis

Pengujian Bahan Baku Beton Geopolimer

Pengujian bahan baku beton geopolimer meliputi pengujian agregat kasar (kerikil), agregat halus (pasir) dan abu terbang. Pengujian pasir antara lain uji gradasi, kadar zat organik, kandungan lumpur dan *specific gravity*. Pengujian agregat kasar terdiri dari pengujian *specific gravity*, abrasi, dan gradasi. Pengujian XRF (*X-ray Fluorescence*) dilakukan terhadap *fly ash* untuk mengukur komposisi dan persentase kandungan kimia.

Pengujian Slump Beton Geopolimer

Setelah beton dikeluarkan dari *concrete mixer*, terlebih dahulu dilakukan uji *slump* tegak dengan tujuan mengukur derajat *workability* beton geopolimer. Uji *slump* tegak dengan mengukur

penurunan tinggi beton segar yang dikeluarkan dari kerucut Abrams. Pengujian *slump* beton dilakukan mengacu pada SNI 03-1972-1990, “Metode Pengujian *Slump* Beton”.

Pengujian Kuat Tekan Beton Geopolimer

Tata cara untuk pengujian kuat tekan beton mengikuti SNI 1974-2011 tentang “Cara Uji Kuat Tekan Dengan Benda Uji Silinder”. Pengujian kuat tekan dilakukan menggunakan alat *Compression Testing Machine* (CTM). Data yang diperoleh pada CTM adalah gaya tekan aksial (N) maksimum yang dapat ditahan beton. Perhitungan lebih lanjut diperlukan untuk memperoleh nilai kuat tekan beton.

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

dengan:

f'_c = kuat tekan (MPa);

P = gaya tekan aksial (N);

A = luas tampang (mm^2)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Uji Bahan Baku Beton Geopolimer

Standarisasi bahan baku penyusun beton mengacu pada *American Standard Testing Method* (ASTM). Rincian hasil pengujian dan analisis data pengujian agregat halus dan agregat kasar ditampilkan dalam Tabel 2 dan Tabel 3:

Tabel 2. Ringkasan hasil uji agregat halus

Tipe Pengujian	Standarisasi	Hasil Pengujian	Spesifikasi
<i>Bulk Specific gravity SSD</i>	ASTM C 127	2,56	2,5-2,7
<i>Bulk Specific gravity</i>		2,51	
<i>Apparent Specific gravity</i>		2,64	
<i>Absorption</i>		1,94	
Kandungan Lumpur	ASTM C 142	4,20%	<5%
Kandungan Zat Organik	ASTM C 40-92	Kuning muda	Kuning muda
Modulus Kehalusan	ASTM C 136	1,7	1,5<MH<3,8

Tabel 3. Ringkasan hasil uji agregat kasar

Tipe Pengujian	Standarisasi	Hasil Pengujian	Spesifikasi
<i>Bulk Specific gravity SSD</i>	ASTM C 127	2,55	2,5-2,7
<i>Bulk Specific gravity</i>		2,49	
<i>Apparent Specific gravity</i>		2,64	
<i>Absorption</i>	ASTM C 128	2,15	Maks. 3%
Abrasi	ASTM C 131	27,64	Maks. 40%
Modulus Kehalusan	ASTM C 33	6,9	6,5<MH<7,1

Hasil pengujian XRF pada abu terbang menunjukkan kadar $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ adalah 76,65% dan kadar CaO 7,26%. Abu terbang kelas F didefinisikan oleh ASTM C-618 memiliki kadar $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ lebih dari 70% dan kandungan CaO kurang dari 10%.

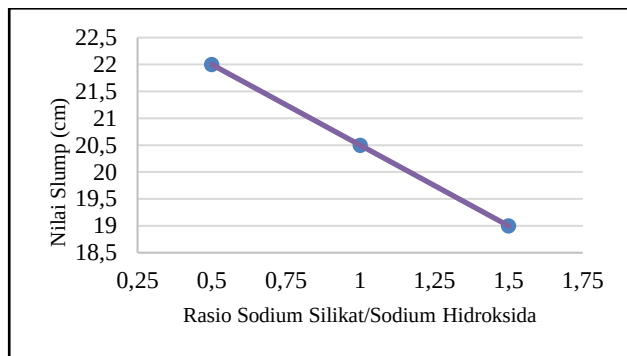
Hasil Uji Slump Beton Geopolimer

Tabel 4 menunjukkan hasil pengukuran slump beton geopolimer untuk perbandingan SS/SH 0,5;1,0; dan 1,5.

Tabel 4. Rekapitulasi hasil uji *slump* beton geopolimer

No	Kode Sampel	Rasio SS/SH	Slump (cm)
1	0,43GPC-0,5	0,5	22
2	0,43GPC-1,0	1	20,5
3	0,43GPC-1,5	1,5	19

Data pada Tabel 4, digunakan sebagai dasar untuk membuat grafik hubungan antara nilai slump dan variasi rasio $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$, yang disajikan pada Gambar 2.

**Gambar 2.** Korelasi antara perbandingan sodium silikat/sodium hidroksida dengan nilai *slump* beton geopolimer

Berdasarkan Tabel 4 dan Gambar 2, terlihat campuran beton dengan perbandingan alkali aktivator 1,5 memiliki nilai slump terkecil. Selanjutnya Gambar 2 menunjukkan bahwa nilai slump turun seiring dengan bertambahnya rasio sodium silikat terhadap sodium hidroksida. Sodium Silikat (Na_2SiO_3) merupakan larutan yang memiliki viskositas lebih tinggi dibandingkan Sodium Hidroksida. Hal tersebut menyebabkan campuran dengan rasio SS/SH yang lebih kecil campurannya lebih encer dan memiliki tingkat *workability* yang lebih besar.

Hasil Uji Kuat Tekan Beton Geopolimer

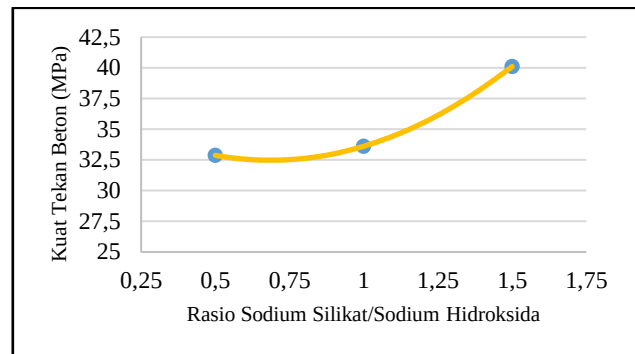
Data hasil pengukuran kuat tekan beton geopolimer dalam berbagai variasi perbandingan sodium silikat terhadap sodium hidroksida (0,5; 1,0; 1,5) disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 5. Rekapitulasi hasil pengujian kuat tekan beton geopolimer

Spesimen	Kode	f'c (MPa)	f'cr (MPa)
0,43GPC-0,5	A	35,03	33,61
	B	34,18	
	C	34,46	
	D	32,37	
	E	32,03	
0,43GPC-1,0	A	26,20	34,33
	B	33,50	
	C	40,74	
	D	32,26	
	E	38,93	
0,43GPC-1,5	A	45,78	41,13
	B	31,92	

Spesimen	Kode	f'c (MPa)	f'cr (MPa)
	C	41,42	
	D	46,23	
	E	40,29	

Berdasarkan Tabel 5, didapatkan grafik hubungan antara variasi rasio alkali aktivator dengan kuat tekan beton geopolimer yang ditampilkan pada Gambar 3.

**Gambar 3.** Hubungan kuat tekan beton geopolimer dengan perbandingan SS/SH

Temuan dari Tabel 5 dan Gambar 3 menunjukkan bahwa, terjadi peningkatan nilai kuat tekan seiring dengan bertambahnya perbandingan SS/SH. Hasil pengujian menunjukkan adanya peningkatan kuat tekan sebesar 2,12% ketika rasio SS/SH dinaikkan dari 0,5 ke 1,0. Selanjutnya, peningkatan kuat tekan sebesar 16,85% terjadi pada rasio SS/SH 1,5 dibandingkan dengan rasio SS/SH 1,0. Hasil analisis data menunjukkan bahwa kombinasi optimal antara perbandingan SS/SH (0,5-1,5) dan kadar aktivator 0,43 menghasilkan rata-rata kuat tekan beton geopolimer tertinggi sebesar 40,11 MPa. Menurut ketentuan dalam SNI 2847:2019, kuat tekan pada rasio SS/SH 0,5-1,5 pada kadar aktivator 0,43 telah memenuhi syarat kuat tekan beton untuk sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) dan dinding struktural khusus dengan nilai minimum sebesar 21 MPa untuk beton normal.

KESIMPULAN

Berdasarkan temuan dan analisis perhitungan data yang dilakukan pada beton geopolimer dengan kadar aktivator 0,43 dan rasio SS/SH (0,5-1,5) pada beton usia 28 hari dengan metode *curing* temperatur ruang, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Dengan meningkatnya rasio sodium silikat terhadap sodium hidroksida, *workabilitas* beton geopolimer mengalami penurunan. Pengujian menunjukkan bahwa nilai *slump* beton geopolimer dengan kadar aktivator konstan 0,43 menurun seiring peningkatan rasio SS/SH,

dari 22 cm pada rasio 0,5 menjadi 19 cm pada rasio 1,5

2. Terdapat korelasi positif antara peningkatan rasio SS (sodium silikat) terhadap SH (sodium hidroksida) 0,5-1,5 dengan kuat tekan beton geopolimer. Beton geopolimer dengan kadar aktivator 0,43 dan rasio SS/SH 0,5; 1; dan 1,5 secara berurutan memiliki kekuatan tekan sebesar 33,61 MPa; 34,33 MPa; dan 40,11 MPa.
3. Beton geopolimer dengan kadar aktivator 0,43 dan perbandingan sodium silikat terhadap sodium hidroksida 0,5-1,5 telah memenuhi syarat kuat tekan untuk sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada seluruh pihak yang telah berkontribusi dalam penyelesaian penelitian ini, terutama kedua orang tua, dosen pembimbing, dan rekan-rekan atas segala dukungan, doa, serta bimbingan yang telah diberikan.

REFERENSI

- ASTM Internasional. (2001). *ASTM C127: Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate*.
- ASTM Internasional. (2004). *ASTM C40-92: Standard Test Method for Organic Impurities in Fine Aggregates for Concrete*.
- ASTM Internasional. (2006). *ASTM C33: Standard Specification for Concrete Aggregates*.
- ASTM Internasional. (2006). *ASTM C618: Standard Specification for Coal Fly ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete*.
- ASTM Internasional. (2010). *ASTM C128: Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate*.
- ASTM Internasional. (2010). *ASTM C131: Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine*.
- ASTM Internasional. (2014). *ASTM C136: Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates*.
- ASTM Internasional. (2017). *ASTM C142: Standard Test Method for Clay Lumps and Friable Particles in Aggregates*.
- Badan Standarisasi Nasional. (1990). *SNI 1990: Metode Pengujian Slump Beton*.
- Badan Standarisasi Nasional. (2011). *SNI 1974:2011: Cara Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Silinder*.
- Badan Standarisasi Nasional. (2019). *SNI 2847:2019: Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung Dan Penjelasan*.
- Badan Standarisasi Nasional. (2002). *SNI 03-6414-2002 Spesifikasi Timbangan yang Digunakan pada Pengujian Bahan*.
- Davidovits, J. (1991). *GEOPOLYMERS : Inorganic Polymeric New Materials. Journal of Thermal Analysis*, 37, 1633–1656.
- Davidovits, J. (1994). *Global Warming Impact On The Cement And Aggregates Industries. Geopolimer Institute*, 6, 263–278.
- Ekaputri, J. J., & Triwulan, T. (2013). Sodium sebagai aktivator fly ash, Trass dan Lumpur Sidoarjo dalam beton geopolimer. In *Jurnal Teknik Sipil ITB*. <https://multisite.itb.ac.id/fts/ wp-content/uploads/sites/8/2013/05/1.-Januari-Vol.20-No.1.pdf>
- Hardjito, D., & Rangan, B. V. (2005). *Development and Properties Of Low-Calcium Fly Ash-Based Geopolymer Concrete*.
- Panjaitan, P. E., & Herlina, L. (2020). Review Faktor - Faktor yang Mempengaruhi Karakteristik Kuat Tekan Beton Geopolimer. *Jurnal Rekayasa Konstruksi Mekanika Sipil*, 3(2), 65–79. <https://doi.org/10.54367/jrkms.v3i2.858>
- Tambingon, F. R., Sumajouw, M. D. J., & ... (2018). Kuat Tekan Beton Geopolymer dengan Perawatan Temperatur Ruang. *Jurnal Sipil Statik*.