



# JIPTEK: Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik dan Kejuruan

Jurnal Homepage: <https://jurnal.uns.ac.id/jptk>

## Kajian Variasi Rasio Alkali Aktivator dengan *Binder* (Al/Bi) Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Beton Geopolimer Berbasis *Fly Ash-Slag*

Ernawati Sri Sunarsih<sup>1</sup>, Nur Khotibul Umam<sup>2</sup>, Kundari Rahmawati<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Program Studi Pendidikan Teknik Bangunan, Universitas Sebelas Maret, Indonesia

Email: [ernawatisri@staff.uns.ac.id](mailto:ernawatisri@staff.uns.ac.id)

### ABSTRAK

Peningkatan kebutuhan semen mengakibatkan peningkatan jumlah karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) yang terlepas di lingkungan. Alternatif penekanan penggunaan semen dengan menggunakan material geopolimer berupa *fly ash* dan *slag* sebagai pengganti semen pada beton konvensional. Penelitian bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi rasio alkali aktivator dengan *binder* (Al/Bi) terhadap sifat fisis dan mekanis beton geopolimer berbasis *fly ash-slag*. Metode yang digunakan yakni metode eksperimen dengan sampel berbentuk silinder dengan variasi rasio Al/Bi 0,40; 0,45; 0,50; dan 0,55. Analisis data menggunakan analisis statistik deskriptif. Pengujian kuat tarik belah sesuai SNI 2491: 2014 dengan sampel berdiameter 100 mm dan tinggi 200 mm serta pengujian daya serap air dan porositas sesuai ASTM C642-06 dengan sampel berdiameter 100 mm dan tinggi 50 mm. Hasil penelitian didapatkan beton geopolimer berbasis *fly ash-slag* variasi rasio Al/Bi 0,40; 0,45; 0,50; dan 0,55 berpengaruh pada nilai kuat tarik belah, daya serap air, dan porositas beton yang bervariasi. Variasi rasio Al/Bi optimal pada rasio Al/Bi 0,50 dengan kuat tarik maksimum sebesar 2,534 MPa, nilai daya serap air minimum sebesar 2,65% dan nilai porositas minimum sebesar 8,05%.

**Kata kunci:** beton geopolimer, daya serap air, *fly ash-slag*, kuat tarik, porositas.

### ABSTRACT

*The increase in cement demand results in an increase in the amount of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) released into the environment. An alternative to emphasizing the use of cement by using geopolymer materials in the form of fly ash and slag as a substitute for cement in conventional concrete. The aim of this study was to determine the effect of variations in the ratio of alkaline activator to binder (Al/Bi) on the physical and mechanical properties of geopolymer concrete based on fly ash-slag. The method used is the experimental method with cylindrical samples with variations in the Al/Bi ratio of 0,40; 0,45; 0,50; and 0,55. Data analysis used descriptive statistical analysis. Split tensile strength test according to SNI 2491: 2014 with a sample diameter of 100 mm and a height of 200 mm and testing for water absorption and porosity according to ASTM C642-06 with a sample of 100 mm in diameter and 50 mm in height. The results of the study obtained fly ash-slag based geopolymer concrete with variations in the Al/Bi ratio of 0,40; 0,45; 0,50; and 0,55 affects the varying values of split tensile strength, water absorption, and porosity of the concrete. The variation of the optimal Al/Bi ratio is at an Al/Bi ratio of 0,50 with a maximum tensile strength of 2,534 MPa, a minimum water absorption value of 2,65% and a minimum porosity value of 8,05%.*

**Keywords:** *fly ash-slag, geopolymer concrete, porosity, tensile strength, water absorption.*

## PENDAHULUAN

Beton yang menggunakan semen *Portland* sebagai bahan pengikat material memiliki dampak yang buruk terhadap lingkungan. Masalah yang terjadi adalah pada industri semen yang menyumbangkan emisi gas CO<sub>2</sub> di udara setiap produksinya. Setiap 1 ton semen yang diproduksi menghasilkan 1 ton pula gas CO<sub>2</sub> yang dilepas di lingkungan (Davidovits, 1994). Permasalahan tersebut menjadi sangat penting mengingat semen merupakan salah satu unsur penting dalam pembuatan beton yang dapat mendukung perkembangan pembangunan infrastruktur. Perkembangan pembangunan infrastruktur juga akan meningkatkan kebutuhan semen dan jumlah karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) yang terlepas di lingkungan.

Upaya yang dapat dilakukan untuk mengatasi permasalahan ini adalah dengan mengurangi penggunaan semen sebagai bahan perekat dalam pembuatan beton. Banyak penelitian yang bertujuan untuk mengurangi penggunaan semen dalam beton salah satunya adalah beton geopolimer. Penggunaan pasta semen diganti dengan material geopolimer sebagai bahan pengikat pada beton. Geopolimer adalah sebuah senyawa alumino silikat anorganik yang disintesis dari bahan-bahan produk sampingan seperti abu terbang (*fly ash*), abu sekam padi (*rice husk ash*) dan lain-lain, yang banyak mengandung silika dan alumunium (Davidovits, 1991).

Beton geopolimer adalah beton yang sama sekali tidak menggunakan semen dalam pembuatannya. Sebagai penggantinya digunakan material yang banyak mengandung silika dan alumina yang dapat beraksi dengan

cairan alkalin untuk menghasilkan bahan pengikat (*binder*). Silika dan alumina akan bereaksi dengan bantuan cairan sodium silikat dan sodium hidroksida untuk mengikat agregat, pasir dan material lainnya menjadi beton geopolimer (Putra et al., 2014).

Menurut Gandina *et al.* (2020) geopolimer merupakan produk beton yang reaksi pengikatannya adalah reaksi polimerisasi. Dalam reaksi polimerisasi ini Alumunium dan Silika mempunyai peranan penting dalam ikatan polimerisasi karena reaksi aluminium dan silika dengan alkali akan menghasilkan AlO<sub>4</sub> dan SiO<sub>4</sub>. Proses polimerisasi menghasilkan suatu rantai dalam bentuk stuktur yang disebut *polysialate* (Si-O-Al-O-Si). Air dilepaskan selama reaksi kimia terjadi dalam pembentukan senyawa geopolimer. Air ini dikeluarkan selama masa perawatan (*curing*) dan pengeringan. Bahan dasar beton geopolimer adalah bahan yang memiliki banyak kandungan Silika dan Alumunium. Salah satu bahan yang mengandung banyak Alumunium dan Silika dapat ditemukan pada abu terbang (*fly ash*) (Kaselle & Allo, 2021).

Abu terbang (*fly ash*) batu bara adalah limbah hasil pembakaran batu bara pada tungku pembangkit listrik tenaga uap yang berbentuk halus, bundar dan bersifat pozolanik (SNI 03-6863: 2002). *Fly ash* merupakan material dengan sifat pozolanik yang baik. Kandungan *fly ash* sebagian besar terdiri dari oksida-oksida silika (SiO<sub>2</sub>), aluminium (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), besi (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), dan kalsium (CaO), serta potasium, sodium, titanium, dan sulfur dalam jumlah sedikit (Nugraha & Antoni, 2007). Pembakaran batu bara pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap

(PLTU) menghasilkan limbah *fly ash* sejumlah 8 juta ton/tahun (Utami et al., 2017). *Fly ash* yang memiliki kandungan Silika dan alumina ini dapat bersifat seperti semen ketika dicampur dengan cairan alkali. Penelitian terkait dengan beton yang mengandung *fly ash* menghasilkan peningkatan kekuatan beton karena *fly ash* yang bersifat hidrolik bereaksi mengikat kalsium hidroksida  $\text{Ca(OH)}_2$  saat proses hidrasi (Sri & Adi, 2014). Beton geopolimer berbasis *fly ash* perlu perawatan suhu panas, yang dianggap sebagai batasan untuk aplikasi *cor in-situ* pada suhu lingkungan yang rendah (Nath & Sarker, 2014).

Kekurangan tersebut dapat diatasi dengan menambahkan *slag* pada binder agar mempercepat *setting time* beton sehingga tidak memerlukan perawatan suhu panas. Menambahkan *slag* dalam campuran geopolimer berbasis *fly ash* dapat mempercepat *setting time* dan meningkatkan kekuatan tekan beton geopolimer (Nath & Sarker, 2012). Dengan menggunakan sedikit *slag* sebagai bahan pengikat dapat membantu beton geopolimer mencapai waktu pengerasan dan kekuatan tekan yang sebanding dengan beton yang menggunakan semen *Portland* (Nath & Sarker, 2014). *Slag* memiliki bentuk granular dengan ukuran yang bervariasi dari kasar sampai halus. Limbah *slag* berasal dari peleburan baja dimana setiap produksi baja menghasilkan 20% limbah *slag* dan di Indonesia produksi *slag* sekitar 800 ribu ton (Gunawan et al., 2011).

Alkali aktivator merupakan bahan kimia yang digunakan untuk mengaktifkan binder sehingga mendapatkan ikatan polimerisasi yang kuat dan juga mempercepat reaksi yang terjadi.

Alkali aktivator yang paling sering digunakan pada penelitian-penelitian geopolimer adalah dengan menggunakan Sodium Silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) dan Natrium Hidroksida (NaOH). Sodium silikat berperan penting untuk mempercepat reaksi polimerisasi (Pujiyanto et al., 2013). Sodium silikat berbentuk gel dan apabila dilarutkan dalam air menghasilkan larutan alkali. Natrium hidroksida berfungsi mereaksikan Silika dan Alumina sehingga menghasilkan ikatan polimerisasi yang kuat. Natrium hidroksida berbentuk padat seperti serbuk. Campuran antara *fly ash* dan natrium hidroksida membentuk ikatan yang sangat kuat tetapi menghasilkan ikatan yang lebih padat dan tidak ada retakan (Septia, 2011).

Penelitian terkait dengan beton geopolimer berbasis *fly ash-slag* dengan variasi rasio alkali aktivator dengan binder (Al/Bi) oleh Paul & Gunneswara Rao (2022) menunjukkan bahwa meningkatkan rasio Al/Bi tidak meningkatkan kekuatan tetapi meningkatkan workability beton. Sedangkan, pada penelitian Shoaie et al. (2019) nilai kekuatan meningkat dari rasio Al/Bi 0,40 hingga rasio Al/Bi 0,60 dan menurun pada variasi rasio Al/Bi 0,70. Hasil dari penelitian terkait variasi rasio Al/Bi terdapat perbedaan kesimpulan.

Berdasarkan permasalahan baik dalam pencemaran lingkungan dan juga pemanfaatan limbah serta kebutuhan dalam melaksanakan kajian terkait dengan rasio Al/Bi beton geopolimer berbasis *fly ash-slag* maka dilakukan penelitian terkait dengan pengaruh variasi rasio Al/Bi terhadap sifat fisis dan mekanis beton geopolimer berbasis *fly ash-slag*.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi rasio alkali aktivator dengan binder (Al/Bi) terhadap kuat tarik, daya serap air, dan porositas beton geopolimer berbasis *fly ash-slag* serta untuk mengetahui rasio alkali aktivator dengan binder (Al/Bi) yang optimal dengan nilai kuat tarik maksimum, daya serap minimum, dan porositas minimum pada beton geopolimer berbasis *fly ash-slag*.

## METODE PENELITIAN

Metode yang dipergunakan yakni pendekatan kuantitatif dengan metode eksperimen. Metode penelitian eksperimen tersebut dilaksanakan untuk mengetahui pengaruh dari perlakuan tertentu terhadap objek penelitian pada kondisi yang terkendali (Rahmawati et al., 2019). Pelaksanaannya di laboratorium dengan kondisi serta perlengkapan yang sesuai kebutuhan agar dapat dihasilkan data penelitian.

Benda uji berbentuk silinder dengan diameter 100 mm dan tinggi 200 mm untuk pengujian kuat tarik dan diameter 100 mm dan tebal 50 mm untuk pengujian daya serap air dan porositas beton. Variasi rasio Al/Bi yang digunakan yaitu 0,40; 0,45; 0,5; 0,55 dengan perbandingan alkali aktivator  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  dan NaOH adalah 1,5. Molaritas Sodium Hidroksida (NaOH) sebanyak 8 M. Penggunaan *slag* sebesar 20% yang disubstitusi pada *fly ash* beton geopolimer. Pengujian kuat tarik sesuai dengan SNI

2491:2014 serta pengujian daya serap air dan pengujian porositas sesuai dengan ASTM C 642-06 yang dilaksanakan pada saat beton berumur 7 hari.

Sumber data dalam penelitian ini dikelompokkan menjadi dua yaitu data primer dan data sekunder. Data primer yaitu data yang diperoleh dari hasil pengujian laboratorium berupa pemeriksaan bahan, *mix design*, uji kuat tarik, porositas, dan daya serap air pada beton geopolimer berbasis *fly ash-slag* pada umur 7 hari. Data sekunder merupakan data yang diperoleh secara tidak langsung dari orang lain, kantor yang berupa laporan, profil, buku pedoman, atau pustaka (Ahyar et al., 2020). Data sekunder dalam penelitian ini berupa variasi molaritas yang digunakan sesuai dengan penelitian Herwani et al. (2018) dan substitusi *slag* sesuai dengan penelitian Ling et al. (2019).

Bahan penyusun beton seperti terlihat pada Gambar 1 dengan rincian bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- a) Agregat halus berupa pasir alami berasal dari Kulonprogo, Yogyakarta.
- b) Agregat kasar berupa kerikil berasal dari PT. Panca Beton Indonesia.
- c) *Fly ash* tipe F berasal dari PLTU PT. Tanjung B Jepara.
- d) *Slag* berasal dari PT. Krakatau Semen Indonesia, Cilegon.
- e) Sodium Silikat (SS) dan Sodium Hidroksida (SH) didapatkan dari Toko Cipta Kimia, Surakarta.



Gambar 1. Bahan Penyusun Beton Geopolimer

Rincian sampel penelitian dengan pengujian kuat tarik, daya serap air, dan porositas beton geopolimer berbasis *fly ash-slag* dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Sampel Benda Uji

Kode	Kuat Tarik	Daya Serap Air	Porositas	Jumlah Sampel
BK	4	4	4	12
FS 0,40	4	4	4	12
FS 0,45	4	4	4	12
FS 0,50	4	4	4	12
FS 0,55	4	4	4	12
Total	20	20	20	60

Keterangan Kode Sampel :

BK = Beton Konvensional

FS 0,40 = Beton geopolimer berbasis *fly ash-slag* dengan rasio Al/Bi sebesar 0,40.

Penelitian ini memiliki beberapa tahapan, tahap pertama adalah pemilihan dan penyediaan alat dan bahan. Seluruh alat dan bahan harus tersedia untuk mendukung kelancaran penelitian. Tahap kedua merupakan tahap pengujian bahan penyusun beton. Pengujian ini berguna untuk mengetahui karakteristik bahan-bahan yang akan digunakan pada penyusunan beton. Pemeriksaan bahan agregat halus meliputi

pengujian kadar air sesuai dengan SNI 1971: 2011, zat organik sesuai dengan SNI 2816: 2014, kadar lumpur sesuai dengan ASTM C117: 2012, gradasi sesuai dengan ASTM C136: 2012, dan *specific gravity* sesuai dengan SNI 1970: 2008. Pemeriksaan bahan agregat kasar meliputi pengujian kadar air sesuai dengan SNI 1971: 2011, kadar lumpur sesuai dengan ASTM C117: 2012, gradasi sesuai dengan ASTM C136: 2012, abrasi sesuai dengan SNI 2417: 2008, dan *specific gravity* sesuai dengan SNI 1969: 2008. *Fly ash* dan *slag* yang digunakan lolos ayakan no. 200 dengan diameter 0,075 mm. *Fly ash* dan *slag* diuji XRF (*X-ray Fluorescence*) untuk mengetahui kandungan pada binder yang digunakan dalam penyusunan beton geopolimer. Hasil uji XRF *fly ash* dan *slag* dapat dilihat pada Tabel 2.

Tahap ketiga pada penelitian ini adalah perencanaan komposisi campuran beton (*mix design*). Bahan penyusun beton pada penelitian ini adalah agregat halus, agregat kasar, *fly ash*, *slag*, dan alkali aktivator. Perhitungan campuran

beton (*mix design*) menggunakan SNI 7656: 2012 untuk beton konvensional dengan melakukan modifikasi untuk memperoleh campuran beton geopolimer yang sesuai dengan perencanaan. Modifikasi yang diterapkan yaitu semen yang diganti dengan *Binder*(Bi) yang terdiri dari *fly ash* dan *slag*. Air diganti dengan Alkali Aktivator (Al) yang terdiri dari Natrium Silikat (SS) dan Natrium Hidroksida(SH) dengan rasio SS/SH 1,5. Variasi rasio Al/Bi yang digunakan sebesar 0,40; 0,45; 0,50; dan 0,55.

Tabel 2. Komposisi Kimia *Fly Ash* dan *Slag*

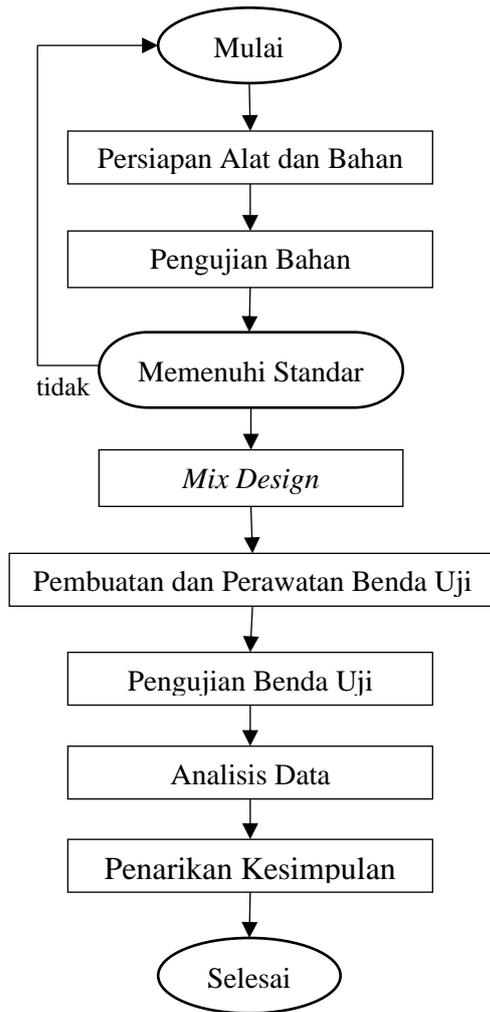
Parameter	Fly Ash (%)	Slag(%)
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,80	0,41
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,39	18,09
CaO	4,93	36,69
MgO	3,10	1,74
MnO <sub>2</sub>	-	0,68
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	< 0,01
Na <sub>2</sub> O	2,02	0,476
K <sub>2</sub> O	1,94	0,538
FcaO	0,08	
SiO <sub>2</sub>	47,60	37,86
TiO <sub>2</sub>	-	0,77
LOI	4,92	< 0,01
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-	0,02
BaO	-	0,08
SrO	-	0,08
ZnO	-	< 0,01
ZrO	-	0,04
SO	-	3,26
SO <sub>3</sub>	0,41	5,43
S	-	2,17

Tahap keempat merupakan tahap pembuatan dan perawatan benda uji. Langkah pertama yaitu membuat larutan NaOH 8M dengan mencampur padatan NaOH sebanyak 320 gr dengan air destilasi ke gelas ukur hingga mencapai volume 1 L, kemudian didiamkan selama 24 jam. Kemudian, membuat campuran *fly ash-slag* dengan persentase *slag* 20% dan dicampur hingga homogen. Setelah itu perakitan cetakan dengan mengencangkan baut pada

cetakan dan diolesi dengan oli pada setiap permukaan cetakan agar beton tidak menempel.

Selanjutnya, mencampurkan seluruh bahan ke dalam molen dimulai dari mencampurkan agregat kasar dan agregat halus selama 5 menit, kemudian menambahkan campuran *fly ash-slag* selama 2 menit, selanjutnya menambahkan larutan alkali aktivator ke dalam molen selama 2 menit, hingga tercampur rata. Kemudian dilakukan pengecoran dan pemadatan sebanyak 2 lapis terhadap beton. Cetakan dibongkar setelah ± 24 jam. Perawatan benda uji beton konvensional dengan merendam benda uji selama 7 hari dan untuk benda uji beton geopolimer dengan mendiamkan benda uji selama 7 hari di ruangan yang tertutup dan menjaga kelembapannya dengan cara disimpan dalam plastik tertutup. Benda uji harus diamankan dari berbagai kegiatan yang dapat merusak kualitas dari beton.

Tahap kelima adalah tahap pengujian benda uji. Dalam penelitian ini dilakukan tiga pengujian terhadap benda uji yaitu pengujian kuat tarik sesuai dengan SNI 2491: 2014 serta pengujian daya serap air dan porositas beton sesuai dengan ASTM C642-06. Pada tahap keenam dalam penelitian ini adalah menganalisis data yang telah diperoleh dari tahap sebelumnya dengan analisis statistik deskriptif. Tahap ketujuh merupakan tahap penarikan kesimpulan berdasarkan dari analisis data untuk menjawab permasalahan-permasalahan yang telah dirumuskan. *Flow chart* tahapan penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Flow Chart Tahapan Penelitian

## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

### 1. Pemeriksaan Bahan

Pemeriksaan bahan meliputi pemeriksaan kadar air, kadar zat organik, kadar lumpur, *specific gravity*, dan gradasi agregat halus yang dapat dilihat pada Tabel 3 dan pemeriksaan kadar air, kadar lumpur, *specific gravity*, abrasi, dan gradasi agregat kasar yang dapat dilihat pada Tabel 4.

Berdasarkan Tabel 3 dan Tabel 4 menunjukkan bahwa agregat halus dan agregat kasar yang digunakan dalam penelitian memenuhi syarat sebagai bahan penyusun beton.

Tabel 3. Hasil Pemeriksaan Agregat Halus

Parameter	Hasil	Keterangan
Kadar Air	2,15%	Memenuhi Syarat
Kadar Zat Organik	No. 2 Kuning Muda	Memenuhi Syarat
Kadar Lumpur	2,01%	Memenuhi Syarat
<i>Bulk Specific Gravity SSD</i>	2,5	Memenuhi Syarat
<i>Absorptions</i>	2,18 %	Memenuhi Syarat
Modulus Kehalusan Butir	2,41	Memenuhi Syarat

Tabel 4. Pemeriksaan Agregat Kasar

Parameter	Hasil	Keterangan
Kadar Air	2,17%	Memenuhi Syarat
Kadar Lumpur	0,49%	Memenuhi Syarat
<i>Bulk Specific Gravity SSD</i>	2,61	Memenuhi Syarat
<i>Absorptions</i>	3,56%	Memenuhi Syarat
Abrasi	10,45%	Memenuhi Syarat
Modulus Kehalusan Butir	6,03	Memenuhi Syarat

### 2. Perencanaan Campuran (*Mix Design*)

Rekapitulasi kebutuhan bahan untuk beton konvensional dan beton geopolimer dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Rekapitulasi Kebutuhan Bahan Beton Geopolimer per m<sup>3</sup>

Kode Sampel	Pasir (kg)	Kerikil (kg)	Semen (kg)	Air (kg)	Fly Ash (kg)	Slag (kg)	Alkali Aktivator	
							SS (kg)	SH (kg)
BK	854,4	923,1	354,1	229,1	-	-	-	-
FS 0,40	854,4	923,1	-	-	283,3	70,8	85,0	56,7
FS 0,45	854,4	923,1	-	-	283,3	70,8	95,6	63,7
FS 0,50	854,4	923,1	-	-	283,3	70,8	106,2	70,8
FS 0,55	854,4	923,1	-	-	283,3	70,8	116,9	77,9

### 3. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Konvensional

Hasil pengujian kuat tekan beton konvensional pada umur 7 hari digunakan untuk membuktikan perencanaan campuran beton konvensional (*Mix Design*) setara dengan perencanaan nilai kuat tekan sebesar 25 MPa ketika dikonversikan pada umur 28 hari. Hasil pengujian kuat tekan beton konvensional umur 7 hari dilampirkan dalam Tabel 6.

Tabel 6 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Konvensional Umur 7 Hari

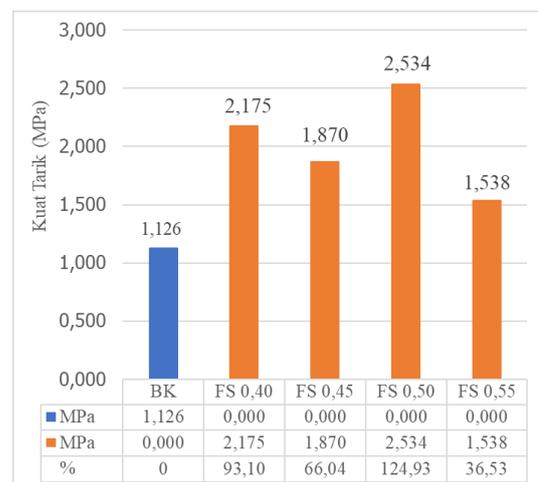
Sampel	A (mm <sup>2</sup> )	P Maks (N)	Kuat Tekan (MPa)	Konversi 28 hari (MPa)
1	7819,0	136443,6	17,5	26,8
2	7868,9	126651,1	16,1	24,8
3	7677,5	124677,7	16,2	25,0
<b>Rata-Rata</b>			16,6	25,5

### 4. Hasil Pengujian Kuat Tarik Beton Geopolimer Berbasis Fly Ash-Slag

Seperti yang terlihat pada Gambar 3 nilai kuat tarik beton geopolimer variasi rasio Al/Bi 0,45 mengalami penurunan dari variasi rasio Al/Bi 0,40, kemudian mengalami kenaikan pada variasi rasio Al/Bi 0,50, dan kembali turun pada variasi rasio Al/Bi 0,55.

Pengujian kuat tarik beton konvensional pada grafik menunjukkan nilai sebesar 1,126 MPa. Pengujian kuat tarik beton geopolimer variasi rasio Al/Bi 0,40

didapatkan nilai sebesar 2,175 MPa dengan persentase kenaikan 93,10% terhadap beton konvensional, kemudian nilai kuat tarik beton geopolimer variasi rasio Al/Bi 0,45 didapatkan nilai sebesar 1,870 MPa dengan persentase kenaikan 66,04% terhadap beton konvensional. Pengujian kuat tarik beton geopolimer variasi Al/Bi 0,50 didapatkan nilai kuat tarik tertinggi sebesar 2,534 MPa dengan persentase kenaikan 124,93% terhadap beton konvensional, kemudian nilai kuat tarik terendah beton geopolimer pada variasi rasio Al/Bi 0,55 sebesar 1,538 MPa dengan persentase kenaikan terhadap beton konvensional sebesar 36,53%.



Gambar 3. Grafik Hasil Pengujian Kuat Tarik

Nilai kuat tarik beton geopolimer berbasis *fly ash-slag* dipengaruhi oleh *workability* dan tingkat kekentalan pada beton geopolimer. Pada variasi rasio Al/Bi

0,45 memiliki *workability* beton segar yang rendah sehingga pada pelaksanaan pembuatan sampel, beton menjadi tidak memadat dengan sempurna sehingga terjadi penurunan yang signifikan pada nilai kuat tarik beton geopolimer. Rasio Al/Bi yang rendah kurang bisa diterapkan dalam pembuatan beton karena memiliki *workability* yang rendah dan dengan meningkatkan rasio Al/Bi dapat meningkatkan *workability* pada beton sehingga lebih mudah dalam pengerjaan dan dapat memaksimalkan kekuatan beton (Paul & Gunneswara Rao, 2022).

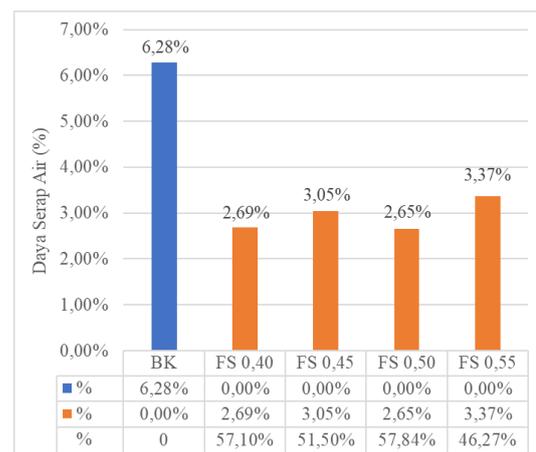
Pada variasi rasio Al/Bi 0,55 beton kembali mengalami penurunan setelah mencapai kuat tarik tertinggi, hal ini disebabkan karena penggunaan alkali aktivator yang terlalu besar mengakibatkan beton geopolimer menjadi encer. Pada kondisi ini, beton yang mengeras akan terdapat pori-pori yang kemudian juga akan mempengaruhi nilai kuat tarik beton geopolimer berbasis *fly ash-slag*. Ketika kandungan alkali aktivator meningkat akan menyebabkan polimerisasi yang lebih banyak. Peningkatan rasio Al/Bi pada tingkat tertentu memiliki dampak negatif pada kekuatan beton (Paul & Gunneswara Rao, 2022).

### 5. Hasil Pengujian Daya Serap Air Beton Geopolimer Berbasis *Fly Ash-Slag*

Seperti yang terlihat pada Gambar 4 nilai daya serap air beton geopolimer variasi rasio Al/Bi 0,45 mengalami kenaikan dari variasi rasio Al/Bi 0,40, kemudian mengalami penurunan pada variasi rasio

Al/Bi 0,50, dan kembali naik pada variasi rasio Al/Bi 0,55.

Pengujian daya serap air beton konvensional pada grafik menunjukkan nilai sebesar 6,28%. Pengujian daya serap air beton geopolimer variasi rasio Al/Bi 0,40 didapatkan nilai sebesar 2,69% dengan persentase penurunan 57,10% terhadap beton konvensional, kemudian nilai daya serap air beton geopolimer variasi rasio Al/Bi 0,45 didapatkan nilai sebesar 3,05% dengan persentase penurunan 51,50% terhadap beton konvensional. Pengujian daya serap air beton geopolimer variasi Al/Bi 0,50 didapatkan nilai daya serap air terendah sebesar 2,65% dengan persentase kenaikan 57,84% terhadap beton konvensional, kemudian nilai daya serap air tertinggi pada variasi beton geopolimer terdapat pada variasi rasio Al/Bi 0,55 sebesar 3,37% dengan persentase penurunan terhadap beton konvensional sebesar 46,27%.



Gambar 4. Grafik Hasil Pengujian Daya Serap Air

Nilai daya serap air pada beton geopolimer berbasis *fly ash-slag* dipengaruhi oleh pori-pori atau rongga pada beton geopolimer. Pada variasi rasio Al/Bi yang

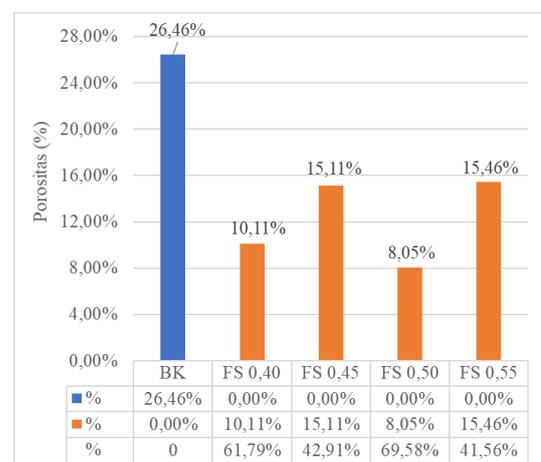
rendah menyebabkan beton geopolimer memiliki *workability* yang rendah sehingga terjadi kendala dalam pemadatan beton geopolimer. Seperti pada penelitian Usha *et al.* (2016) yang menyampaikan bahwa campuran dengan rasio Al/Bi rendah memiliki *workability* yang rendah sehingga sulit dalam pemadatan dan pencetakan campuran. Proses pemadatan yang tidak maksimal menimbulkan rongga pada beton geopolimer berbasis *fly ash-slag*. Hal ini terjadi pada beton geopolimer variasi rasio Al/Bi 0,45 yang memiliki nilai daya serap air yang cukup tinggi 3,05% dibanding dengan variasi lain.

Nilai daya serap air optimal atau yang memiliki daya serap minimum terdapat pada variasi rasio Al/Bi 0,50 sebesar 2,65%. Dengan meningkatkan rasio Al/Bi dapat meningkatkan *workability*, sehingga pemadatan pada beton dapat sempurna dan menurunkan nilai daya serap air pada beton. Namun, nilai daya serap air mengalami kenaikan pada rasio Al/Bi 0,55 yang dapat disebabkan oleh kandungan aktivator pada beton geopolimer berbasis *fly ash-slag* yang tinggi menjadikan beton geopolimer memiliki pori-pori. Hal ini terjadi karena beton geopolimer yang memiliki kandungan alkali aktivator yang berlebihan dapat menghasilkan banyak gelembung udara dan menimbulkan pori-pori pada beton dan akan meningkatkan nilai daya serap air (Shoaei *et al.*, 2019).

## 6. Hasil Pengujian Porositas Beton Geopolimer Berbasis *Fly Ash-Slag*

Seperti yang terlihat pada Gambar 5 nilai porositas beton geopolimer variasi rasio Al/Bi 0,45 mengalami kenaikan dari variasi rasio Al/Bi 0,40, kemudian mengalami penurunan pada variasi rasio Al/Bi 0,50, dan kembali naik pada variasi rasio Al/Bi 0,55.

Pengujian porositas beton konvensional pada grafik menunjukkan nilai sebesar 26,46%. Pengujian porositas beton geopolimer variasi rasio Al/Bi 0,40 didapatkan nilai sebesar 10,11% dengan persentase penurunan 61,79% terhadap beton konvensional, kemudian nilai porositas beton geopolimer variasi rasio Al/Bi 0,45 didapatkan nilai sebesar 15,11% dengan persentase penurunan 42,91% terhadap beton konvensional. Pengujian daya serap air beton geopolimer variasi Al/Bi 0,50 didapatkan nilai porositas terendah sebesar 8,05% dengan persentase kenaikan 69,58% terhadap beton konvensional, kemudian nilai daya serap air tertinggi pada variasi beton geopolimer terdapat pada variasi rasio Al/Bi 0,55 sebesar 15,46% dengan persentase penurunan terhadap beton konvensional sebesar 41,56%



Gambar 5. Grafik Hasil Pengujian Porositas

Semakin tinggi rasio Al/Bi menyebabkan nilai porositas beton geopolimer berbasis *fly ash-slag* mengalami penurunan. Hal ini terjadi karena semakin besar rasio Al/Bi membuat beton menjadi lebih padat dan dapat mencapai porositas minimum. Pada variasi rasio Al/Bi yang rendah memiliki nilai porositas yang tinggi diakibatkan oleh reaksi geopolimerisasi yang tidak sempurna menjadikan beton tidak memadat sempurna dan memiliki rongga. Pada rasio Al/Bi yang rendah tidak dapat memberikan fase cair yang cukup untuk bereaksi dengan binder, sehingga proses geopolimerisasi menjadi tidak lengkap (Shoaei et al., 2019). Pada variasi rasio Al/Bi 0,45 terjadi peningkatan nilai porositas yang cukup signifikan akibat dari kurang maksimal dalam proses pemadatan beton geopolimer berbasis *fly ash-slag*. Pada variasi rasio Al/Bi 0,55 beton geopolimer berbasis *fly ash-slag* nilai porositas mengalami kenaikan kembali akibat dari kandungan aktivator yang terlalu tinggi menyebabkan beton menghasilkan banyak gelembung udara dan menimbulkan pori-pori pada beton. Ketika rasio Al/Bi tinggi akan terdapat lebih banyak kandungan aktivator dan banyak gelembung udara yang tertanam pada struktur (Usha et al., 2016).

Nilai porositas beton pada penelitian ini berbanding terbalik dengan nilai kuat tarik beton dan berbanding lurus dengan nilai daya serap air beton geopolimer berbasis *fly ash-slag*. Hasil penelitian Ghasemzadeh Mousavinejad & Gashti (2021) dimana sampel yang memiliki nilai kekuatan yang

rendah berbanding terbalik dengan nilai porositas yang tinggi. Dan pada penelitian Paul & Gunneswara Rao (2022) juga menyampaikan bahwa nilai daya serap air dan porositas terhadap nilai kekuatan memiliki tren yang sama.

## SIMPULAN DAN SARAN

### Simpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan pada penelitian terkait Kajian Variasi Rasio Alkali Aktivator dengan Binder (Al/Bi) Terhadap Kuat Tarik, Daya Serap Air, dan Porositas Beton Geopolimer Berbasis *Fly Ash-Slag* dapat disimpulkan bahwa:

1. Beton geopolimer berbasis *fly ash-slag* dengan variasi rasio Al/Bi 0,40; 0,45; 0,50; dan 0,55 berpengaruh pada nilai kuat tarik beton yang bervariasi. Variasi rasio Al/Bi optimal pada rasio Al/Bi 0,50 dengan nilai kuat tarik maksimum beton geopolimer berbasis *fly ash-slag* sebesar 2,534 MPa.
2. Beton geopolimer berbasis *fly ash-slag* dengan variasi rasio Al/Bi 0,40; 0,45; 0,50; dan 0,55 berpengaruh pada nilai daya serap air beton yang bervariasi. Variasi rasio Al/Bi optimal pada rasio Al/Bi 0,50 dengan nilai daya serap air minimum beton geopolimer berbasis *fly ash-slag* sebesar 2,65% terdapat pada variasi rasio Al/Bi 0,50.
3. Beton geopolimer berbasis *fly ash-slag* dengan variasi rasio Al/Bi 0,40; 0,45; 0,50; dan 0,55 berpengaruh pada nilai porositas beton yang bervariasi. Variasi rasio Al/Bi optimal pada rasio Al/Bi 0,50 dengan nilai porositas minimum beton geopolimer

berbasis *fly ash-slag* sebesar 8,05% terdapat pada variasi rasio Al/Bi 0,50.

## Saran

Berdasarkan kesimpulan hasil penelitian, diperlukan saran untuk memperbaiki hasil pada penelitian selanjutnya, yaitu:

1. Perlu diperhatikan pada saat pemadatan beton geopolimer agar beton geopolimer dapat memadat dengan sempurna terutama untuk variasi Al/Bi yang rendah.
2. Perlu diperhatikan mengenai waktu dan suhu ruangan dalam proses pencampuran adukan beton geopolimer.
3. Pada penelitian beton geopolimer dengan variasi Al/Bi yang rendah perlu ditambahkan bahan tambah untuk mempermudah pemadatan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahyar, H., Andriani, H., Sukmana, D. J., Auliya, N. H., Fardani, R. A., Ustiawaty, J., Utami, E. F., & Istiqomah, R. R. (2020). *Buku Metode Penelitian Kualitatif & Kuantitatif* (H. Abadi (ed.); Issue March). CV. Pustaka Ilmu Group.
- Badan Standardisasi Nasional. (2002). *SNI 03-6863-2002 Metode pengambilan contoh dan pengujian abu terbang atau pozolan alam sebagai mineral pencampur dalam beton semen portland*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). *SNI 1969:2008 Cara Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar* (p. 20).
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). *SNI 1970:2008 Cara uji berat jenis dan penyerapan air agregat halus*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). *SNI 2417:2008 Cara uji keausan agregat dengan mesin abrasi Los Angeles*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2011). *SNI 1971:2011 Cara uji kadar air total agregat dengan pengeringan*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2012). *SNI ASTM C117:2012 Metode Uji Bahan yang Lebih Halus dari Saringan 75 M (No. 200) dalam Agregat Mineral dengan Pencucian*. Badan Standardisasi Nasional Indonesia, 200.
- Badan Standardisasi Nasional. (2012). *SNI ASTM C136:2012 Metode uji untuk analisis saringan agregat halus dan agregat kasar ( ASTM C 136-06 , IDT )*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2014). *SNI 2491:2014 Metode uji kekuatan tarik belah spesimen beton silinder*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2014b). *SNI 2816:2014 Metode uji bahan organik dalam agregat halus untuk beton Standard*.
- Davidovits, J. (1991). Geopolymers: Inorganic Polymeric New Materials. *Journal of Thermal Analysis*, 37, 1633–1656. <https://doi.org/10.1007/BF01912193>
- Davidovits, J. (1994). Global Warming Impact on the Cement and Aggregates Industries. *World Resource Review*, 6(2), 263–278. [http://www.osti.gov/energycitations/product.biblio.jsp?osti\\_id=6593603](http://www.osti.gov/energycitations/product.biblio.jsp?osti_id=6593603)
- Gandina, N. L., & Setiyarto, Y. D. (2020). *Studi Eksperimental Beton Geopolimer dengan Memanfaatkan Fly Ash Sebagai Pengganti Semen dan Serat Mat Sebagai Aditif*. 1(April), 26–36. <https://doi.org/10.34010/crane.v1i1.4181>
- Ghasemzadeh Mousavinejad, S. H., & Gashti, M. F. (2021). Effects of alkaline solution to binder ratio on fracture parameters of steel fiber reinforced heavyweight geopolymer concrete. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, 113(December 2020), 102967. <https://doi.org/10.1016/j.tafmec.2021.102967>
- Gunawan, G., Oetojo, P. D., Kusminingrum, N., & Leksminingsih. (2011). Pemanfaatan Slag Baja untuk Teknologi Jalan yang Ramah Lingkungan. In A. B. Sailendra (Ed.), *Kementerian Pekerjaan Umum, Badan Penelitian dan Pengembangan*.
- Herwani, H., Imran, I., Pane, I., Zulkifli, E., & Elvira, E. (2018). Efektivitas Superplasticizer Terhadap Workabilitas Dan Kuat Tekan Beton Geopolimer. *Portal: Jurnal Teknik Sipil*, 10(2), 12–18. <https://doi.org/10.30811/portal.v10i2.975>
- Internasional, A. (2006). *ASTM C 642-06 Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete*.
- Kaselle, H., & Allo, R. B. (2021). Pengaruh

- Penggunaan Slag Nikel Pada Kuat Tekan dan Kuat Lentur Beton Geopolimer. *Journal of Applied Civil and Environmental Engineering*, 1(2), 67–73. <https://doi.org/10.31963/jacee.v1i2.2999>
- Ling, Y., Wang, K., Li, W., Shi, G., & Lu, P. (2019). Effect of slag on the mechanical properties and bond strength of fly ash-based engineered geopolymer composites. *Composites Part B: Engineering*, 164(February), 747–757. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.01.092>
- Nath, P., & Sarker, P. K. (2012). Geopolymer concrete for ambient curing condition. *In Proceedings of the Australasian Structural Engineering Conference*, 11–13. <https://www.researchgate.net/publication/266222256>
- Nath, P., & Sarker, P. K. (2014). Effect of GGBFS on setting, workability and early strength properties of fly ash geopolymer concrete cured in ambient condition. *Construction and Building Materials*, 66, 163–171. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.05.080>
- Nugraha, P., & Antoni. (2007). *Teknologi Beton dari Material, Pembuatan, ke Beton Kinerja Tinggi*. C.V Andi Offset.
- Paul, G. V., & Gunneswara Rao, T. D. (2022). Workability and Strength Characteristics of Alkali-Activated Fly ASH/GGBS Concrete Activated with Neutral Grade Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> for Various Binder Contents and the Ratio of the Liquid/Binder. *Slovak Journal of Civil Engineering*, 30(3), 53–64. <https://doi.org/10.2478/sjce-2022-0021>
- Pujianto, A., NA, A., DC2, M., & Hendra. (2013). Kuat Tekan Beton Geopolimer Dengan Bahan Utama Bubuk Lumpur dan Kapur. *Konferensi Nasional Teknik Sipil 7*, 7, 129–136.
- Putra, A. K., Wallah, S. E., & Dapas, S. O. (2014). Kuat Tarik Belah Beton Geopolymer Berbasis Abu Terbang (Fly Ash). *Jurnal Sipil Statik*, 2(7), 330–336.
- Rahmawati, A., Roemintoyo, Nurhidayati, A., Saputro, I. N., & Pramono, L. S. (2019). Pengaruh Penambahan Serat Limbah Banner Terhadap Kuat Lekat dan Mikrostruktur Beton Serat Pasca Bakar Sebagai Suplemen Bahan Ajar Mata Kuliah Teknologi Beton. 12(1), 20–29. <https://doi.org/10.20961/jiptek.v12i1.28252>
- Septia, P. (2011). *Studi Literatur Pengaruh Konsentrasi NaoH Dan Rasio NaoH:Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>, Rasio Air/Prekursor, Suhu Curing, Dan Jenis Prekursor Terhadap Kuat Tekan Beton Geopolimer*. UNIVERSITAS INDONESIA.
- Shoaei, P., Musaei, H. R., Mirlohi, F., Narimani zamanabadi, S., Ameri, F., & Bahrami, N. (2019). Waste ceramic powder-based geopolymer mortars: Effect of curing temperature and alkaline solution-to-binder ratio. *Construction and Building Materials*, 227, 116686. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116686>
- Sri, E., & Adi, T. L. (2014). Tinjauan Penambahan Limbah Styrofoam dan Fly Ash Terhadap Berat Jenis, Kuat Tekan dan Kuat Lentur Beton Ringan Struktural. *JIPTEK: Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Dan Kejuruan*, VII(2), 9–16.
- Usha, S., Nair, D. G., & Vishnudas, S. (2016). Feasibility Study of Geopolymer Binder from Terracotta Roof Tile Waste. *Procedia Technology*, 25(Raerest), 186–193. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2016.08.096>
- Utami, R., Herbudiman, B., & Irawan, R. R. (2017). Efek Tipe Superplasticizer terhadap Sifat Beton Segar dan Beton Keras pada Beton Geopolimer Berbasis Fly Ash. *RekaRacana: Jurnal Teknik Sipil*, 3(1), 59–70. <https://ejournal.itenas.ac.id/index.php/rekaracana/article/view/1183/1393>