

# Pengaruh Substitusi Parsial Limbah Bata Ringan terhadap Kuat Tekan Mortar Geopolimer

NUGRAHA ADI PRATAMA<sup>1</sup>, ERMA DESIMALIANA<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Bandung, Indonesia

<sup>2</sup>Dosen Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Bandung, Indonesia

Email: [ermadesmaliana@itenas.ac.id](mailto:ermadesmaliana@itenas.ac.id)

## ABSTRAK

*Dewasa ini penggunaan material pengikat berunsur alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) atau silika (SiO<sub>2</sub>) seperti fly ash sebagai material substitusi semen mulai dijumpai dalam pembuatan beton berkelanjutan, yang seringkali dikenal sebagai beton geopolimer. Limbah bata ringan memiliki kandungan alumina atau silika sehingga dapat digunakan dalam campuran beton geopolimer. Oleh sebab itu, penelitian ini memiliki tujuan untuk menganalisis kekuatan tekan mortar geopolimer akibat pengaruh substitusi parsial limbah bata ringan (LBR) baik sebagai binder terutama precursor fly ash (FA) maupun filler pasir galunggung (PG). Variasi substitusi parsial LBR terhadap FA yaitu 0%:100%; 10%:90%; 20%:80% dan 30%:70% sedangkan variasi substitusi parsial LBR terhadap PG yaitu 10%:90%; 15%:85% dan 20%:80%. Pengujian kekuatan tekan mortar dilakukan pada usia 7, 14 dan 28 hari. Pada usia 28 hari, kekuatan tekan mortar geopolimer dengan variasi 10% limbah bata ringan:90% fly ash yaitu 46,74 MPa. Sedangkan kekuatan tekan mortar geopolimer dengan variasi 10% limbah bata ringan:90% pasir hanya 26,37 MPa. Hal ini mengindikasikan bahwa substitusi limbah bata ringan sebagai agregat halus tidak direkomendasikan karena kekuatan tekan mortarnya mengalami penurunan yang diakibatkan kadar penyerapan alkali aktivator begitu cepat sehingga reaksi polimerisasi dengan precursor tidak berlangsung dengan baik.*

**Kata kunci:** limbah bata ringan, mortar geopolimer, kekuatan tekan

## ABSTRACT

*Nowadays, the use of binder materials containing alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) or silica (SiO<sub>2</sub>) such as fly ash as a cement substitute material is starting to be found in the manufacture of sustainable concrete, which is often known as geopolymer concrete. Light brick waste contains alumina or silica so it can be used in geopolymer concrete mixtures. Therefore, this research aims to analyze the compressive strength of geopolymer mortar due to the influence of partial substitution of light brick waste (LBR) as a binder, especially fly ash (FA) precursor and Galunggung sand (PG) filler. Variations in partial substitution of LBR for FA are 0%:100%; 10%:90%; 20%:80% and 30%:70%, while the variation in partial substitution of LBR for P is 10%:90%; 15%:85% and 20%:80%. Mortar compressive strength testing was carried out at 7, 14 and 28 days. At 28 days, the compressive strength of geopolymer mortar with a variation of 10% light brick waste: 90% fly ash is 46.74 MPa. Meanwhile, the compressive strength of geopolymer mortar with a variation of 10% light brick waste: 90% sand is only 26.37 MPa. This indicates that the substitution of light brick waste as fine aggregate is not recommended because the compressive strength of the mortar decreases due to the rate of absorption of the alkali activator so quickly that the polymerization reaction with the precursor does not proceed well.*

**Keywords:** light brick waste, geopolymer mortar, compression strength

## 1. PENDAHULUAN

Dewasa ini, beton geopolimer merupakan salah satu inovasi material konstruksi yang berkelanjutan untuk lingkungan dalam industri konstruksi modern. Di industri konstruksi modern, khususnya bidang pembangunan, tidak dapat dipungkiri lagi material konstruksi memberikan dampak terhadap lingkungan baik saat pembuatan maupun saat penggunaan. Dari segi pembuatan material konstruksi konvensional, dampak yang diberikan yaitu sebagai penyumbang terbesar karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) akibat peningkatan produksi semen mempengaruhi peningkatan efek rumah kaca hampir 40%.

Beton geopolimer juga material penyusunnya berupa material alami, ramah lingkungan dan bersifat pozzolan seperti abu terbang (*fly ash*) hasil dari limbah batu bara, limbah bata ringan ataupun limbah kaca yang dicampur dengan larutan alkali [3] [15]. Beton geopolimer yang komponen penyusun utamanya menggunakan material daur ulang (*recycle*) dari limbah, mampu mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan karena sifatnya yang ramah lingkungan dan berkelanjutan [10], serta memiliki kinerja yang tinggi [9]. Pembuatan beton geopolimer biasanya mengimplikasikan proses bercampurnya material dasar dengan larutan alkali aktivator, selanjutnya akan menjalani reaksi kimia yaitu polimerisasi sehingga dihasilkan material konstruksi yang memiliki *durability* tinggi dan *mechanical properties* yang unggul [6] [7].

Mortar disusun dari beberapa material meliputi semen, agregat halus dan air [4], biasanya berfungsi untuk menambahkan lekatan pada elemen konstruksi tertentu lainnya, serta berukuran kubus kecil 5x5x5 cm. Mortar geopolimer disusun dari pencampuran agregat halus, air dan material pengikat, yang dihasilkan dari reaksi polimerisasi antara alkali aktivator dengan silika dan alumina dari limbah *fly ash* [17]. Reaksi polimerisasi yang terjadi pada mortar geopolimer biasanya bersumber dari larutan alkali aktivator, yang terdiri dari campuran sodium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) dan sodium hidroksida ( $\text{NaOH}$ ). Larutan alkali aktivator sangat mempengaruhi kekuatan mortar geopolimer yang terbaik sehingga diperlukan kombinasi komposisi campuran yang sesuai [17].

*Fly Ash* (FA) merupakan salah satu residu yang dihasilkan selama pembakaran batu bara atau bahan bakar fosil lainnya di PLTU atau pabrik, biasanya terdiri dari partikel halus yang naik bersama gas [11]. *Fly ash* juga memiliki butiran yang cukup halus lolos saringan no. 325 dengan berat jenis antara 2,15 – 2,8 dan berwarna abu-abu kehitaman [1]. Bata ringan terbuat dari material dasar berupa semen, pasir, air dan *foaming agent* [8] [13]. Bata ringan juga memiliki kandungan serbuk alumina untuk menghasilkan gelembung gas kecil sehingga terbentuk banyak pori menjadikannya material konstruksi dengan bobot yang ringan.

Oleh sebab itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh substitusi parsial limbah bata ringan baik sebagai *binder* maupun *filler* dalam komposisi campuran mortar geopolimer terhadap kekuatan tekannya.

## 2. METODOLOGI

### 2.1 Persiapan dan Pengujian Karakteristik Material

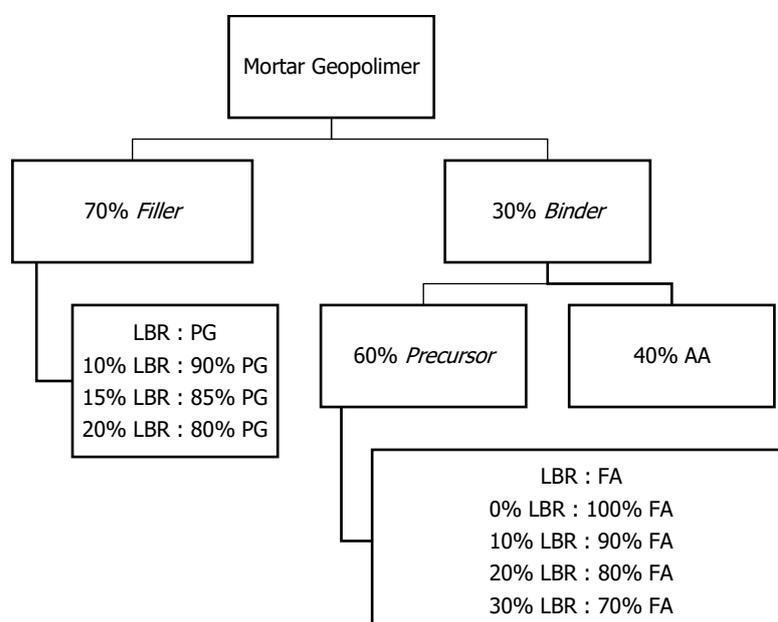
Penelitian ini dimulai dengan persiapan dan pengujian karakteristik material penyusun mortar geopolimer, antara lain:

- a. *Fly Ash* (FA) tipe F dari PLTU Paiton, Probolinggo. Sebelum digunakan sebagai *binder*, *fly ash* dikeringkan dalam oven, kemudian diayak dengan saringan no. 200. Pengujian karakteristik *fly ash* yang dilakukan yaitu berat jenis berdasarkan ASTM C-618 2005 [2].

- b. Limbah Bata Ringan (LBR) jenis hebel yang lolos saringan no. 200, digunakan sebagai substitusi *precursor* dan *filler*/agregat halus. Pengujian karakteristik LBR meliputi berat jenis dan analisis saringan.
- c. Pasir Galunggung (PG) yang lolos saringan no. 4 menerus sampai no. 100, digunakan sebagai *filler*/agregat halus. Pengujian karakteristik PG meliputi berat isi, berat jenis, kadar lumpur dan analisis saringan.
- d. Alkali Aktivator (AA) berupa campuran natrium hidroksida (NaOH) berkonsentrasi molaritas sebesar 10M, dan natrium silikas ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) dengan perbandingan 1:3.

## 2.2 Mixed Design Mortar Geopolimer

*Mixed design* mortar geopolimer dilakukan dengan pendekatan rasio volume karena tidak ada *code* atau acuan yang merumuskan perhitungan *mixed design* beton geopolimer. Oleh sebab itu, perlu dilaksanakan literasi lebih lanjut untuk memperoleh kisaran *mixed design* dari penelitian-penelitian terdahulu. Serta, juga perlu dilakukan *trial mix* untuk mendapatkan *mixed design* dengan *workability* yang baik.



**Gambar 1. Komposisi penyusun mortar geopolimer dengan rasio volume**

**Gambar 1** menunjukkan komposisi penyusun mortar geopolimer dengan rasio volume. Setelah pembuatan benda uji, maka akan dilaksanakan pengujian kekuatan tekan mortar geopolimer di usia 7, 14 dan 28 hari dengan perawatan metode membran. Pengujian kekuatan tekan mortar geopolimer berdasarkan SNI 03-6825-2002, memiliki tujuan untuk mendapatkan gaya maksimum per satuan luas benda uji mortar berbentuk kubus 5x5x5 cm [12]. Setiap variasi mortar geopolimer berjumlah 3 (tiga) buah benda uji, maka total benda uji kekuatan tekan berjumlah 63 buah.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Hasil Pengujian Karakteristik Pasir Galunggung

Hasil pengujian karakteristik Pasir Galunggung (PG) dapat dilihat pada **Tabel 1** berikut.

**Tabel 1. Hasil Pengujian Karakteristik Pasir Galunggung (PG)**

No.	Jenis Pengujian	Hasil	Spesifikasi	Satuan
1	<i>Fineness modulus</i> (FM)	1,92	1,5 – 3,8	%
2	Berat jenis			
	- <i>Bulk specific gravity on SSD</i>	2,27	2,1 – 2,9	-
	- <i>Absorption</i>	6,67	2 – 7	%
3	Berat isi			
	- Kondisi padat	1,48	1,2 – 1,75	gr/cm <sup>3</sup>
	- Kondisi gembur	1,39	1,2 – 1,75	gr/cm <sup>3</sup>
4	Kadar lumpur	3,2	<5	%

Pada **Tabel 1** tersaji dari hasil pengujian karakteristik PG yang digunakan memiliki nilai *fineness modulus* (FM) sebesar 1,92 yang memenuhi spesifikasi acuan yaitu 1,5 – 3,8. Nilai *bulk specific gravity on SSD* dan *absorption* yang diperoleh 2,27 dan 6,67%. Nilai *bulk specific gravity on SSD* sudah memenuhi spesifikasi acuan yaitu 2,1 – 2,9. Begitu juga nilai *absorption* sudah memenuhi spesifikasi acuan yaitu 2 – 7%. Nilai berat isi, baik kondisi padat maupun kondisi gembur, keduanya sudah memenuhi spesifikasi acuan yaitu 1,2 – 1,75 gr/cm<sup>3</sup>. Adapun nilai berat isi kondisi padat sebesar 1,48 gr/cm<sup>3</sup> sedangkan nilai berat isi kondisi gembur sebesar 1,39 gr/cm<sup>3</sup>. Selain itu, PG juga memiliki nilai kadar lumpur sebesar 3,2% yang sudah memenuhi spesifikasi acuan yaitu <5%.

### 3.2 Hasil Pengujian Karakteristik *Fly Ash*

Hasil pengujian karakteristik *fly ash* (FA) berupa berat jenis bertujuan untuk mengetahui seberapa banyak kebutuhan *fly ash* yang akan digunakan dalam *mix design* mortar geopolimer. Hasil pengujian berat jenis tersaji pada **Tabel 2**.

**Tabel 2. Hasil Pengujian Karakteristik *Fly Ash* (FA)**

No.	Jenis Pengujian	Hasil	Spesifikasi	Satuan
1	Berat jenis	2,65	1,9 – 2,55	-

**Tabel 2** menunjukkan hasil pengujian karakteristik FA yang digunakan memiliki nilai berat jenis sebesar 2,65 halmana ternyata tidak memenuhi spesifikasi acuan yaitu sekitar 1,9 – 2,55.

**Tabel 3. Hasil Pengujian XRF *Fly Ash* [14]**

Unsur/Senyawa	Kandungan [%]
SiO <sub>2</sub>	40,54
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,16
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,06
CaO	10,14
SO <sub>3</sub>	10,15

Untuk mengetahui komposisi unsur/senyawa kimia yang terkandung dalam FA, maka perlu dilakukan pengujian XRF. Sementara itu, hasil pengujian XRF menggunakan data penelitian sebelumnya dengan mengklasifikasikan FA dalam kelas F tersaji pada **Tabel 3**. **Tabel 3** menyajikan hasil analisis komposisi unsur/senyawa kimia, menunjukkan FA yang digunakan termasuk tipe F dengan jumlah kandungan SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> > 70%. Hal tersebut berdasarkan hasil pengujian karakteristik kimia FA PLTU Paiton, Probolinggo, Jawa Timur didapatkan unsur SiO<sub>2</sub> sebesar 40,54%; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sebesar 18,16% dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sebesar 11,06%.

### 3.3 Hasil Pengujian Karakteristik Limbah Bata Ringan

Hasil pengujian limbah bata ringan (LBR) tersaji pada **Tabel 4** berikut.

**Tabel 4. Hasil Pengujian Karakteristik Limbah Bata Ringan**

No.	Jenis Pengujian	Hasil	Spesifikasi	Satuan
1	Modulus kehalusan	4,51	-	%
2	Berat jenis			
	- Bulk specific gravity on SSD	1,97	1,9 – 2,55	-
	- Absorption	21,95	2 – 7	%

**Tabel 4** menunjukkan hasil pengujian karakteristik LBR yang digunakan memiliki nilai berat jenis sebesar 1,97 halmana ternyata sudah memenuhi spesifikasi acuan yaitu sekitar 1,9 – 2,55. Adapun nilai absorption belum memenuhi spesifikasi acuan yaitu <5% karena persentase penyerapan LBR sangat tinggi sebesar 21,95%.

### 3.4 Hasil Pengujian Kekuatan Tekan Mortar Geopolimer

Pengujian kekuatan tekan mortar berukuran kubus 5x5x5 cm dilakukan pada usia 7, 14 dan 28 hari dengan menggunakan *Compression Test Machine* (CTM). Pengujian dilakukan hingga mendapatkan nilai pembebanan maksimum pada benda uji. **Tabel 5** dan **Tabel 6** menunjukkan hasil pengujian kekuatan tekan mortar maksimum.

**Tabel 5. Hasil Pengujian Kekuatan Tekan Mortar Substitusi Parsial LBR terhadap FA**

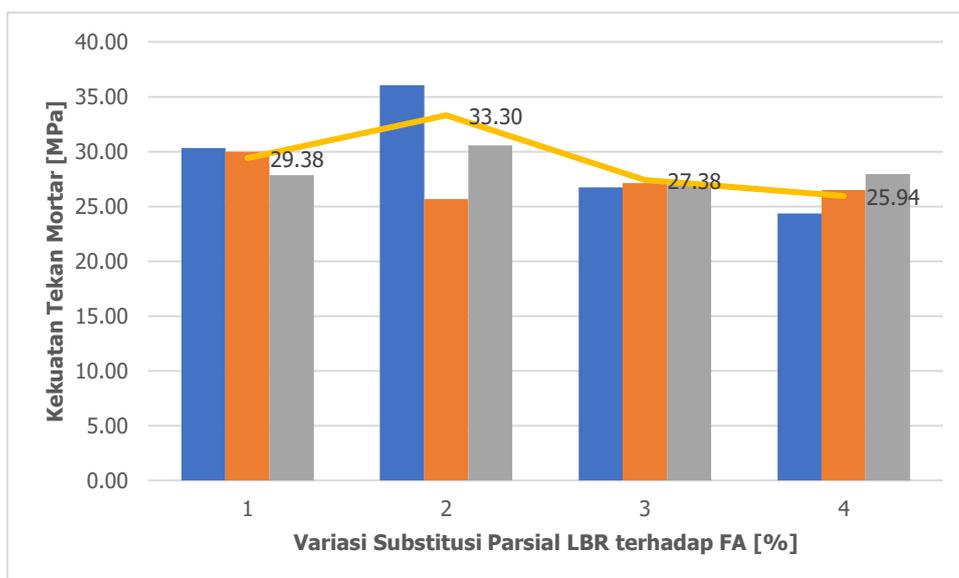
Variasi	7 Hari			14 Hari			28 Hari		
	Benda Uji	$f'c$	Rata-rata	Benda Uji	$f'c$	Rata-rata	Benda Uji	$f'c$	Rata-rata
		[MPa]	[MPa]		[MPa]	[MPa]		[MPa]	
1 0%LBR:100%FA	1	30,30	29,38	1	34,24	34,84	1	45,20	43,82
	2	30,00		2	35,26		2	42,43	
	3	27,84		3	35,02		3	33,94*	
2 10%LBR:90%FA	1	36,03	33,30	1	41,30	38,33	1	43,32	46,74
	2	25,65*		2	28,63*		2	50,16	
	3	30,58		3	35,36		3	29,06*	
3 20%LBR:80%FA	1	26,72	27,38	1	36,05	37,22	1	38,10	43,70
	2	28,31		2	38,39		2	41,96	
	3	27,11		3	27,61*		3	51,04	
4 30%LBR:70%FA	1	24,33	25,94	1	35,59	27,44	1	42,73	42,48
	2	26,48		2	28,44		2	42,43	
	3	27,93		3	21,29*		3	42,28	

**Tabel 5. Hasil Pengujian Kekuatan Tekan Mortar Substitusi Parsial LBR terhadap PG**

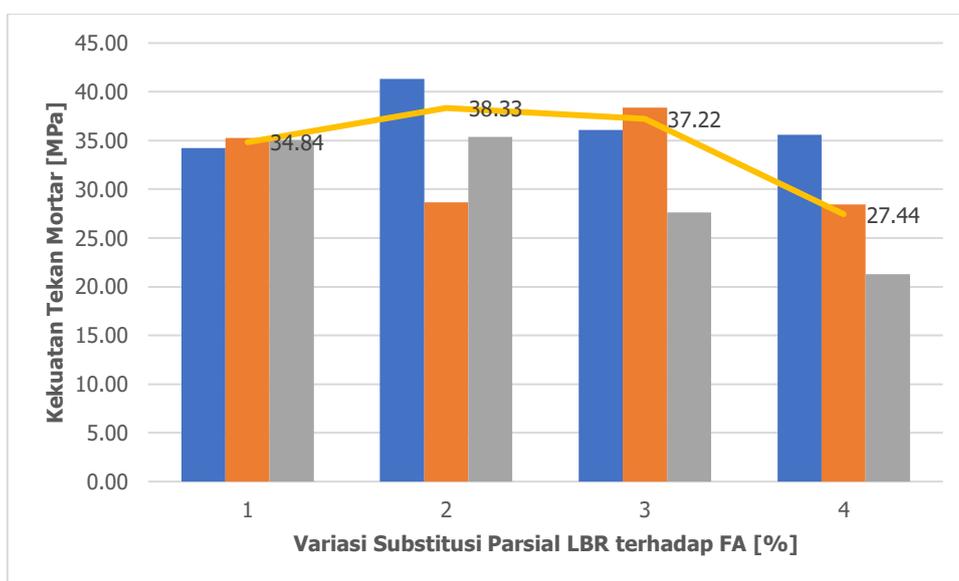
Variasi	7 Hari			14 Hari			28 Hari		
	Benda Uji	$f'c$	Rata-rata	Benda Uji	$f'c$	Rata-rata	Benda Uji	$f'c$	Rata-rata
		[MPa]	[MPa]		[MPa]	[MPa]		[MPa]	
10%LBR:90%PG	1	20,22	20,17	1	24,42	26,37	1	29,84	24,69
	2	19,60		2	26,53		2	23,79	
	3	20,68		3	28,17		3	20,45	
15%LBR:85%PG	1	18,81	18,76	1	28,58	26,98	1	25,86	25,28
	2	18,51		2	26,91		2	23,98	
	3	18,95		3	25,45		3	26,01	
20%LBR:80%PG	1	11,36	14,07	1	20,75	19,82	1	20,58	21,08
	2	16,03		2	20,31		2	21,27	
	3	14,82		3	18,41		3	21,38	

### 3.5 Analisis dan Pembahasan

Dari hasil pengujian kekuatan tekan mortar geopolimer dengan substitusi parsial LBR terhadap FA yang telah dilakukan, maka didapatkan data setiap variasi seperti terlihat pada **Gambar 2** hingga **Gambar 4**.

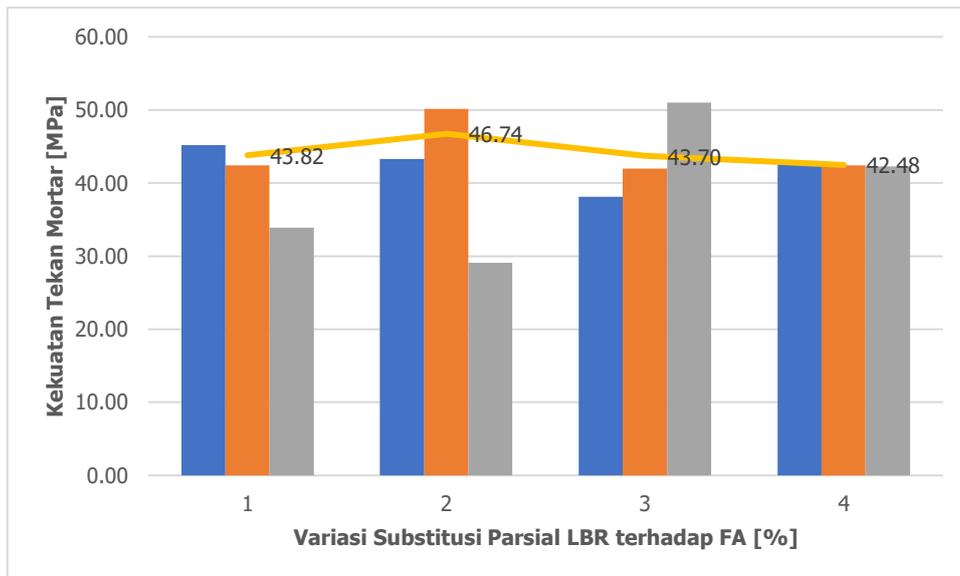


**Gambar 2. Peningkatan kekuatan tekan mortar geopolimer substitusi parsial LBR terhadap FA (sebagai *precursor*) pada usia 7 hari**



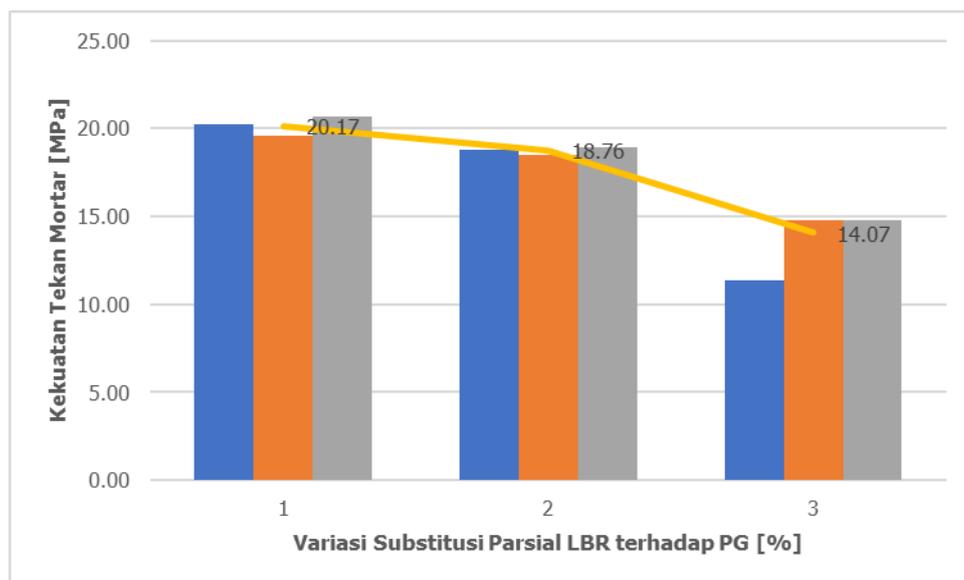
**Gambar 3. Peningkatan kekuatan tekan mortar geopolimer substitusi parsial LBR terhadap FA (sebagai *precursor*) pada usia 14 hari**

Berdasarkan **Gambar 2 hingga Gambar 4**, variasi 2 (10%LBR:90%FA) memiliki nilai kekuatan tekan mortar tertinggi dibandingkan dengan variasi lainnya. Hal ini terlihat peningkatan kekuatan tekan mortar dari usia 7, 14 dan 28 hari berturut-turut yaitu 33,30 MPa; 38,33 MPa; dan 46,74 MPa. Selain itu, dapat diketahui pula setiap variasi mengalami peningkatan kekuatan tekan mortar seiring dengan peningkatan usia mortar.



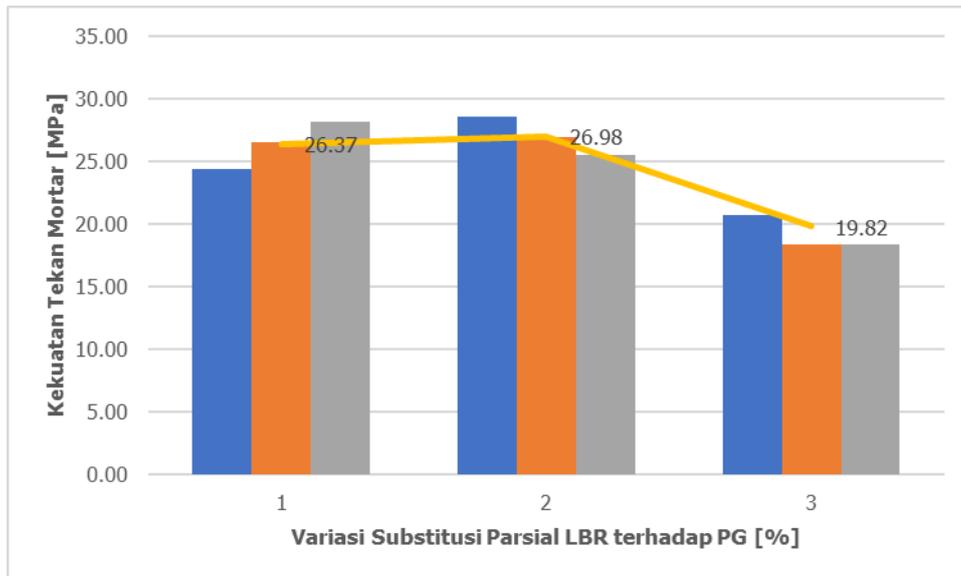
**Gambar 4. Peningkatan kekuatan tekan mortar geopolimer substitusi parsial LBR terhadap FA (sebagai *precursor*) pada usia 28 hari**

Sementara itu, dari hasil pengujian kekuatan tekan mortar geopolimer dengan substitusi parsial LBR terhadap PG yang telah dilakukan, maka didapatkan data setiap variasi seperti terlihat pada **Gambar 5 hingga Gambar 7**.

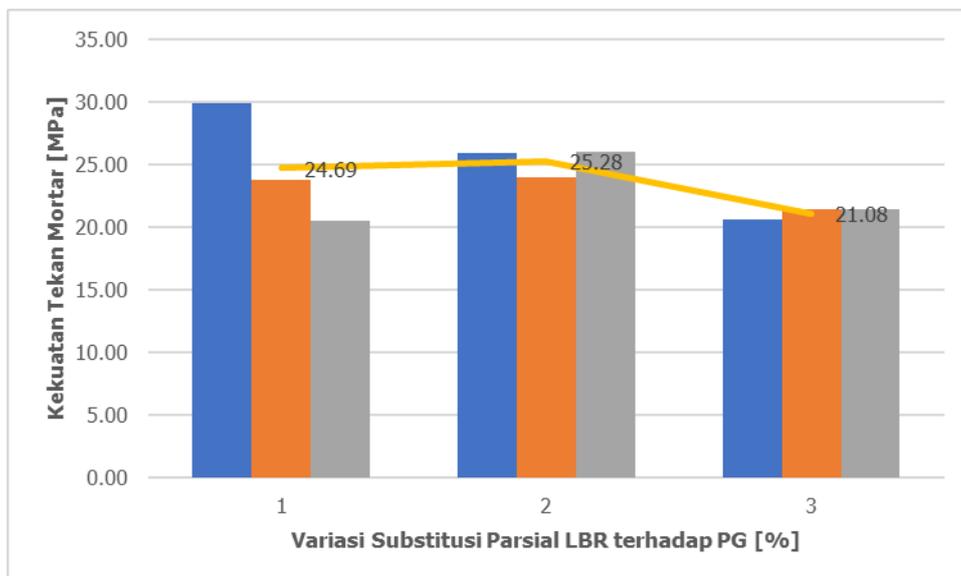


**Gambar 5. Peningkatan kekuatan tekan mortar geopolimer substitusi parsial LBR terhadap PG (sebagai agregat halus) pada usia 7 hari**

Berdasarkan **Gambar 6** dan **Gambar 7**, variasi 2 (20%LBR:80%PG) memiliki nilai kekuatan tekan mortar tertinggi dibandingkan dengan variasi lainnya. Hal ini terlihat penurunan kekuatan tekan mortar dari usia 14 dan 28 hari berturut-turut yaitu 26,98 MPa dan 25,28 MPa. Selain itu, dapat diketahui pula setiap variasi mengalami penurunan kekuatan tekan mortar seiring dengan peningkatan usia mortar.



**Gambar 6. Peningkatan kekuatan tekan mortar geopolimer substitusi parsial LBR terhadap PG (sebagai agregat halus) pada usia 14 hari**



**Gambar 7. Peningkatan kekuatan tekan mortar geopolimer substitusi parsial LBR terhadap PG (sebagai agregat halus) pada usia 28 hari**

Kekuatan tekan mortar geopolimer sangat dipengaruhi oleh komposisi material substitusi parsial LBR baik terhadap FA maupun PG dalam *mixed design*-nya. Substitusi parsial LBR terhadap FA memberikan pengaruh positif terhadap reaksi kimia polimerisasi (ikatan antara material *binder* dalam campuran geopolimer) sehingga menunjukkan adanya peningkatan kekuatan tekan seiring bertambahnya usia mortar, sedangkan substitusi parsial LBR terhadap PG memberikan pengaruh negatif terhadap reaksi kimia polimerisasi sehingga menunjukkan adanya penurunan kekuatan tekan seiring bertambahnya usia mortar.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis dan pembahasan hasil pengujian kekuatan tekan mortar geopolimer tertinggi didapatkan pada variasi 2 sebesar 46,74 MPa pada usia 28 hari dengan rasio

komposisi substitusi parsial 10%LBR : 90%FA. Semakin banyak kadar substitusi LBR terhadap FA maka kekuatan tekan mortar mengalami penurunan walaupun tidak signifikan. Hal tersebut berbeda dengan substitusi parsial LBR terhadap PG yang menunjukkan penurunan kekuatan tekan seiring dengan peningkatan usia mortar, karena LBR memiliki kadar penyerapan yang tinggi melebihi kadar penyerapan agregat halus akibat ukuran porinya yang besar sehingga reaksi ikatan antara material *filler*, *binder* dan alkali aktivator kurang baik. Maka, dapat disimpulkan bahwa LBR lebih direkomendasikan menjadi material alternatif substitusi FA atau *binder/precursor* dalam komposisi campuran mortar geopolimer.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] ACI Committee 226. (1988). Use of Fly Ash in Concrete, ACI 226.3R-87. *ACI Material Journal*, 85, 381-408.
- [2] American Standard Testing and Material. (2005). *ASTM C-618 2005 Standard specification for coal fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use,* ". Pennsylvania: American Standard Testing and Material.
- [3] Angelika, S. D. (2023). Pengaruh Substitusi Parsial Variasi Tepung Kaca Terhadap Kuat Tekan Beton Geopolimer. *RekaRacana: Jurnal Teknik Sipil*, 9(2), 157-166.
- [4] Badan Standardisasi Nasional. (1990). *SNI 03-1968-1990 tentang Metode pengujian tentang analisis saringan agregat halus dan kasar*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- [5] Badan Standardisasi Nasional. (2002). *SNI 03-6825-2002 tentang Metode pengujian kekuatan tekan mortar semen Portland untuk pekerjaan sipil*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- [6] Basha, M. M. (2019). Effect of Glass Powder as Binder in Geopolymer Concrete: A Comparative Study. *Constructin and Building Materials*, 203, \_\_\_-\_\_\_.
- [7] Davidots, J. (1994). Properties of geopolymer cements. *Sci. Res. Inst. Bind. Mater*, 1-19.
- [8] Ibrahim, W. H. (2015). A Review of Fly Ash-Based Geopolymer Lightweight Bricks. *Applied Mechanics and Materials*, 754-755, 452-456.
- [9] Jadhav, N. J. (2018). Utilization of Glass Powder as Binder in Geopolymer Concrete. *International Journal of Innovative Research in Science (IJIRSET)*, 7(5), \_\_\_-\_\_\_.
- [10] Kumar, A. R. (2017). Performance evaluation of geopolymer concrete using glass powder as partial replacement of cement. *Journal of Construction and Building Materials*, 154, \_\_\_-\_\_\_.
- [11] Malhotra, V. &. (1994). *Fly Ash in Concrete*. Canada: CANMET.
- [12] Musyafa, A. R. (2023). Mortar Geopolimer Material Penyusun Mortar Baru Ramah Lingkungan. *Jurnal Online Skripsi Manajemen Rekayasa Konstruksi JOS - MRK*, 4(3), 220-222.
- [13] Rafrita, F. A. (2023). Sifat Mekanik Bata Ringan Geopolimer Berdasarkan Rasio Si/Al. *BENTANG: Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*, 11(2), 179-188.
- [14] Suropto, S. &. (2016). *Pembuatan Bata Beton Berlubang Menggunakan Bahan Baku Abu Terbang Asal PLTU*. Bandung: Balai Besar Keramik.
- [15] Susilowati, A. &. (2015). Bata Beton Geopolimer Tanpa Pasir dengan Perawatan Uap 24 Jam. *Politeknologi*, 14(1), \_\_\_-\_\_\_.
- [16] Widyaningsih, E. &. (2023). Analisis Pengaruh Penggunaan Retarder pada Mortar Geopolimer. *RekaRacana: Jurnal Teknik Sipil*, 9(3), 178-185.
- [17] Wijaya, M. O. (2019). Kuat Tekan Mortar Geopolimer Abu Terbang Hybrid Menggunakan Semen Portland. *Jurnal Teknik*, 13(1), 61-69.