

## Research Article

**EFEK MOLARITAS AKTIVATOR (NAOH) PADA BETON *GEOPOLYMER* DENGAN BAHAN PENGIKAT LIMBAH *FLY ASH* PLTU LONTAR**Dapit Bawono<sup>1\*)</sup> dan Resmi Bestari Muin<sup>1)</sup><sup>1)</sup> Universitas Mercu Buana, Jakarta, Indonesia

Received: 18 August 2023, Accepted: 13 October 2023, Published: 24 February 2024

**Abstract**

The average temperature of the earth's surface has increased by  $0.74 \pm 0.18^\circ\text{C}$  over the past hundred years, caused by 65% carbon dioxide ( $\text{CO}_2$ ) emissions. Of the total  $\text{CO}_2$  emissions, around 6% come from the cement industry. Geopolymer concrete can be a solution to the problem because it does not use cement as a binder, but uses fly ash and activator materials. This activator material is to activate fly ash to become a binder. The aim of this study was to determine the effect of variations in the molarity of the NaOH activator on the workability, setting time, and compressive strength of geopolymer concrete. This study used fly ash from PLTU Lontar with a ratio of  $\text{NaOH}:\text{NNa}_2\text{SiO}_3$  of 1:1.5, then the NaOH was varied with concentration levels of 5 Molar, 8 Molar, 11 Molar, and 14 Molar. From this research, it is known that the molarity level of the activator (NaOH) affects the workability (slump value), setting time, and compressive strength of concrete. The higher the molarity level of the activator (NaOH), the lower the workability of the concrete (the slump value decreases), the slower the setting time of the concrete, and the higher the compressive strength of the concrete. The most optimal variation is 14 Molar NaOH geopolymer with a slump value of 15 cm, initial setting time of 90 minutes, final setting time of 203 minutes, and compressive strength at 28 days of 54.60 MPa.

**Key Words:** *compressive strength, geopolymer concrete, fly ash, NaOH activator, slump, setting time.*

**1. PENDAHULUAN**

Pemanasan global merupakan isu yang dibicarakan di dunia yang terjadi karena adanya peningkatan suhu rata-rata atmosfer, laut dan daratan bumi. Berdasarkan Laporan Kajian Ke-5 (*Assessment Reports 5* atau AR5) *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), suhu bumi telah meningkat sekitar  $0,8^\circ\text{C}$  selama abad terakhir (Dirjen Pengendalian Perubahan Iklim, 2016).

Karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) menyumbang emisi gas rumah kaca di atmosfer sebanyak 65%, dan dari total emisi  $\text{CO}_2$  tersebut sekitar 6% berasal dari industri semen, yang didominasi oleh produk *Ordinary Portland Cement* (OPC) (Samadhi & Pratama, 2018). Setiap produksi satu ton *Portland Cement* mengakibatkan terjadinya pelepasan karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) sebesar satu ton juga ke atmosfer (Rozi et al., 2020). Sedangkan jumlah konsumsi semen di Indonesia diperkirakan mencapai 70-75 juta ton pada tahun 2022 (Hermawan et al., 2022)

Dengan melihat dampak buruk yang ditimbulkan dari proses produksi semen tersebut maka diperlukan material lain sebagai pengganti semen agar tidak semakin merusak lingkungan. Banyak jenis material hasil produksi sampingan (limbah) yang dapat digunakan sebagai bahan substitusi ataupun pengganti

semen, salah satunya adalah abu terbang (*fly ash*) yang merupakan limbah dari pembakaran batu bara pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Menurut data Kementerian Lingkungan Hidup Kehutanan Republik Indonesia, limbah dari PLTU di Indonesia sebesar 10 juta ton per tahun pada tahun 2019 (Santoso et al., 2021).

Pemanfaatan abu terbang (*fly ash*) sebagai substitusi atau bahkan mengganti semen 100% dengan abu terbang (*fly ash*) atau material lain atau yang sering disebut dengan beton *geopolymer*. Harapannya dapat mengurangi dampak buruk pada lingkungan akibat pemanasan global yang disebabkan dari proses pembuatan semen.

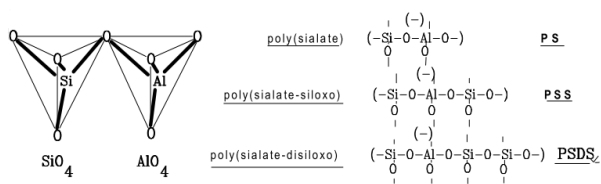
Beton *geopolymer* tidak menggunakan semen sama sekali dalam campurannya. Sebagai gantinya beton *geopolymer* menggunakan bahan yang memiliki silika dan alumina yang terdapat dalam *fly ash*. Agar silika dan alumina yang terdapat dalam *fly ash* dapat mengikat agregat untuk kemudian membentuk *geopolymer*, maka perlu diaktifkan oleh bahan alkali (sodium hidroksida dan sodium silikat) (Hassan, 2018).

Cairan alkalin yang direaksikan dengan silikon (Si) dan aluminium (Al) akan menghasilkan rantai *polimeric* tiga-dimensi dan ikatan struktur

menghasilkan Si-O-Al-O yang konsisten sehingga dapat digunakan sebagai bahan pengikat (*binder*), reaksi tersebut ditemukan oleh Joseph Davidovits pada tahun 1978 dan dinamakan reaksi polimerisasi.

Davidovits menggunakan istilah ‘poly(sialate)’ sebagai nama kimia dari beton geopolimer yang berbahan dasar *silicon-aluminate*. *Sialate* adalah singkatan dari *silicon-oxo-aluminate*. Davidovits membagi *polysialate* ke dalam 3 tipe yaitu:

- 1) *polysialate* (Si-O-Al-O),
- 2) *polysialate-siloxo* (Si-O-Al-O-Si-O)
- 3) *polysialate-disiloxo* (Si-O-Al-O-Si-O-Si-O)



Gambar 1. Struktur kimia *polysialate* (Davidovits, 1991)

Banyak peneliti yang telah melakukan penelitian untuk mengembangkan beton *geopolymer*, diantaranya Amer Hassan (2018) melakukan penelitian beton *geopolymer* berbahan dasar *fly ash* dari Dandri NTPC (*National Capital Power Station*) yang direaksikan dengan aktivator NaOH 16M dan Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> yang mendapatkan kuat tekan 30,67 MPa dengan curing di suhu ruang dan 41,63 MPa dengan curing oven pada suhu 60°C selama 24 jam.

Panjaitan & Herlina (2020) dalam penelitiannya menyimpulkan semakin tinggi nilai molaritas NaOH kuat tekan beton juga semakin meningkat tetapi waktu ikat juga semakin cepat.

Singh (2018) melakukan penelitian dengan menggunakan *fly ash* dan aktivator Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> dan NaOH dengan rasio perbandingan Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>/NaOH yaitu 1,5, 2,0 dan 2,5 yang kemudian dicuring dengan variasi suhu 40°C - 120°C. Dari penelitian tersebut disimpulkan bahwa beton *geopolymer* yang menggunakan *fly ash* lebih baik dibandingkan beton OPC karena kekuatan awal tinggi, tahan lama dan mengeluarkan lebih sedikit karbon. Faktor yang paling mempengaruhi beton geopolimer adalah *curing* beton.

Hamidi dkk. (2016) melakukan penelitian dengan menggunakan *fly ash* dan aktivator NaOH dengan molaritas 4M – 18M, kemudian dicuring pada suhu 60°C selama 1 hari untuk kemudian dilakukan kekuatan lentur. Dari penelitian tersebut menyimpulkan bahwa konsentrasi NaOH mempunyai dampak yang signifikan pada kuat lentur beton *geopolymer* yaitu konsentrasi yang paling optimum adalah NaOH konsentrasi 12M dengan kuat lentur 10,119 MPa.

Karyawan Salain et al. (2021) melakukan penelitian menggunakan *fly ash* dari PLTU Paiton dan aktivator Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> dan NaOH (14 molar) dengan perbandingan NaOH/Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> sebesar 1,5. Kemudian variasi campuran antara *fly ash* dan aktivator adalah 70%:30%, 65%:35% dan 60%:40%. Dari penelitian tersebut campuran beton *geopolymer* dengan persentase abu terbang 65% dan activator 35% adalah yang tertinggi dengan kuat tekan 48,89 MPa pada umur 28 hari.

Oktaviastuti et al. (2021) melakukan penelitian dengan memvariasikan perbandingan agregat dengan binder yaitu 75%:25%, 70%:30%, dan 65%:40%, kemudian untuk aktivator menggunakan Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> dan NaOH dengan perbandingan 1:2, 3:2 dan 5:2. Dari penelitian tersebut beton *geopolymer* dengan perbandingan agregat dengan *binder* 65%:35% dan direndam di air laut mendapatkan kuat tekan 22,810 MPa dan untuk yang direndam air PDAM 27,275 MPa.

Risdanareni et al. (2017) melakukan penelitian menguji sifat fisik masing-masing *fly ash* dari Indonesia (Paiton reembang dan Tanjung Jati serta dari PT Surya Beton dan Semen Indonesia), *fly ash* Jepang dan *fly ash* Australia. *Fly ash* tersebut diuji dengan pengujian XRD dan uji SEM. Dari penelitian tersebut disimpulkan bahwa setiap jenis *fly ash* mempunyai karakteristik sendiri. Faktor penting dalam kekuatan pasta *geopolymer* adalah jarak partikel yang dipengaruhi oleh ukuran *fly ash*.

Sari dkk. (2018) melakukan penelitian dengan membandingkan 3 jenis/sumber *fly ash* yang berbeda yakni *fly ash* dari PLTU Pacitan, Semen Gresik, Petrokimia Gresik, dan Australia dimana hasil penelitian beberapa jenis/sumber *fly ash* tersebut antara *fly ash* satu dengan yang lain mendapatkan hasil yang berbeda, itu artinya jenis/sumber *fly ash* sangat mempengaruhi sifat beton *geopolymer*.

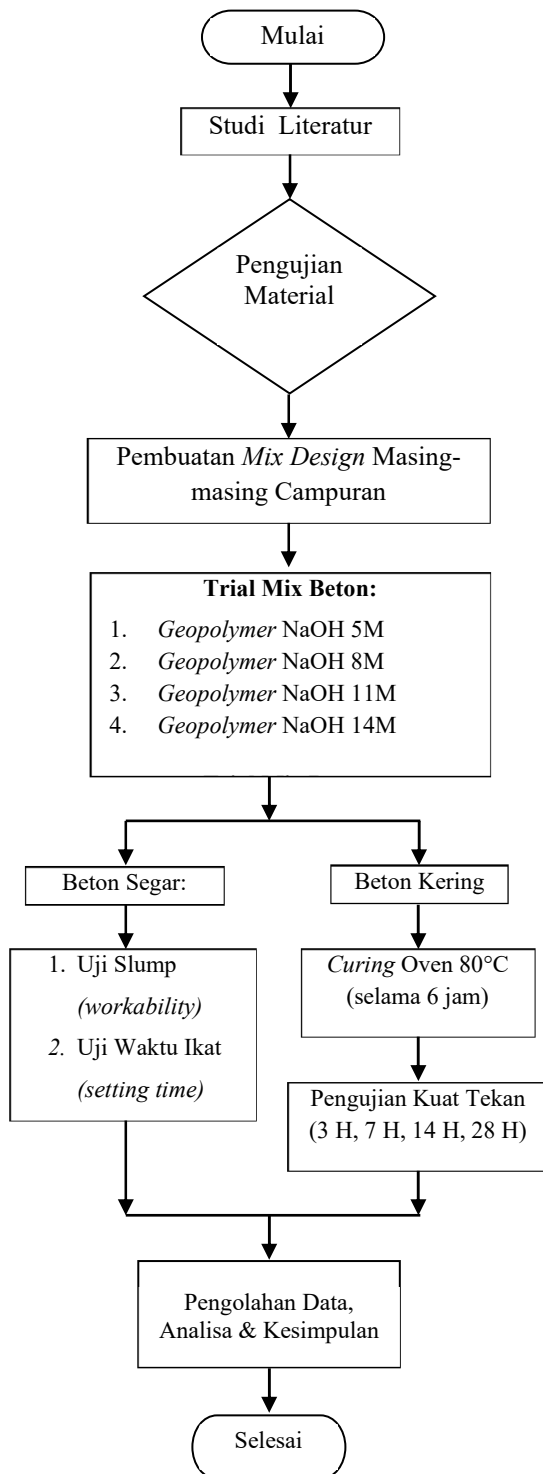
Dari penelitian terdahulu diketahui bahwa tingkat molaritas aktivator (NaOH) sangat mempengaruhi sifat beton diantaranya *workability*, *setting time* dan kuat tekan beton. Kemudian jenis/sumber *fly ash* juga sangat mempengaruhi sifat beton *geopolymer*, karena beda jenis/sumber *fly ash* berbeda juga komposisi senyawa yang terkandung di dalamnya.

Dari penelitian terdahulu yang sudah dilakukan, belum ada yang menggunakan *fly ash* dari PLTU Lontar, oleh karena itu penelitian ini bertujuan Untuk mengetahui pengaruh molaritas aktivator terhadap *workability* (*slump*), *setting time* dan kuat tekan beton *geopolymer* yang berbahan dasar *fly ash* PLTU Lontar. Selain itu ingin diketahui pula komposisi molaritas aktivator (NaOH) yang optimum untuk beton *geopolymer* berbahan dasar *fly ash* PLTU Lontar, dilihat dari *workability*, *setting time* dan kuat tekannya.

## 2. METODE

### Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dengan mengikuti diagram alir seperti yang disajikan pada Gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2. Diagram alir penelitian

### Pengujian Material

#### a. Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini berupa pasir Galunggung 06 dengan pemerikasaan:

- 1) Pengujian kadar organik,
- 2) Pengujian analisa saringan,
- 3) Pengujian berat jenis
- 4) Pengujian penyerapan,
- 5) Pengujian berat volume,
- 6) Pengujian kadar lumpur,
- 7) Pengujian *clay lumps*.

#### b. Agregat Kasar

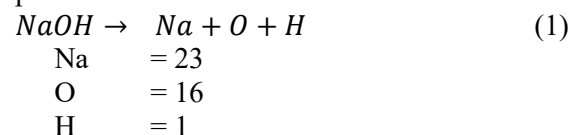
Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini adalah split purwakarta 10-25 dengan pemerikasaan pengujian:

- 1) Pengujian analisa saringan,
- 2) Pengujian berat jenis
- 3) Pengujian penyerapan,
- 4) Pengujian berat volume,
- 5) Pengujian kadar lumpur,
- 6) Pengujian *clay lumps*
- 7) Pengujian abrasi.

#### c. Alkali Aktivator

Penelitian ini menggunakan jenis alkali aktivator sodium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) grade 52 berupa cairan kental yang siap digunakan dan sodium hidroksida (NaOH) dengan molaritas 5M, 8M, 11M dan 14M dengan perbandingan NaOH :  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  komposisi 1:1,5. Bahan alkali aktivator tersebut didapatkan pada toko yang menjual bahan-bahan kimia. Sodium hidroksida (NaOH) berbentuk kristal (*flake*). Sodium hidroksida (NaOH) yang akan digunakan harus dilarutkan terlebih dahulu dengan air dengan kadar tertentu untuk mendapatkan tingkat moaritas yang diinginkan. Berikut langkah membuat 1 liter larutan NaOH:

- 1) Menghitung Mr NaOH berdasarkan tabel periodik:



Mr NaOH = 40gram

Jadi dalam 1 liter solution untuk larutan 1 molar membutuhkan 40gram NaOH kristal (*flake*)

- 2) Menghitung kebutuhan NaOH dalam larutan solution untuk 1 liter pada masing-masing variasi:

$$\text{Massa NaOH} = n \text{ mol} \times \text{Mr} \quad (2)$$

5M	=	5 x 40	=	200 gr
8M	=	8 x 40	=	320 gr
11M	=	11 x 40	=	440 gr
14M	=	13 x 40	=	560 gr

- 3) Menimbang masing-masing berat berdasarkan variasi molaritas
- 4) Timbang NaOH (*flake*) sesuai berat yang sudah dihitung dalam gelas ukur kaca dengan kapasitas 1000 ml
- 5) Masukkan air ke dalam gelas ukur sampai batas 1000 ml pada gelas ukur
- 6) Aduk hingga larut dan bisa digunakan setelah 24 jam
- 7) Setelah 24 jam NaOH solution dapat disimpan dalam jerigen

**d. Bahan Tambahan (Admixture Tipe G)**

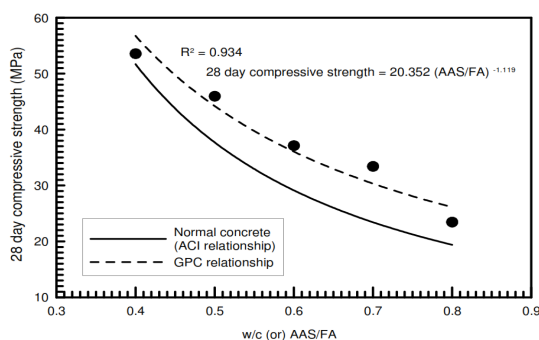
Bahan *admixture* kimia yang digunakan dalam penelitian ini adalah Consol Nexfast A yang diproduksi oleh PT. Kimia Konstruksi Indonesia yang termasuk dalam tipe G yaitu *high range water reducing & retarding*. Tujuan dari penambahan admixture ini agar dapat memperlambat proses *setting time* (pengikatan awal) dan meningkatkan *workability* (kemudahan pengerjaan). Admixture sendiri dikelompokkan menjadi 7 tipe yaitu tipe A-G yang masing-masing mempunyai fungsi tersendiri (ASTM C494, 2013).

- 1) Tipe A : *Water-reducing*
- 2) Tipe B : *Retarding*
- 3) Tipe C : *Accelerating*
- 4) Tipe D : *Water-reducing and retarding*
- 5) Tipe E : *Water-reducing and accelerating*
- 6) Tipe F : *Water-reducing, high range*
- 7) Tipe G : *Water-reducing, high range, and retarding*

**e. Perencanaan Campuran Beton (mix design)**

Pembuatan mix design beton mengacu pada penelitian terdahulu oleh Pavithra et al. (2016) dan SNI-03-6468-2000 sebagai berikut:

**Langkah 1:** Penentuan Kuat Tekan (Perbandingan Aktivator/FA)



Gambar 3. Grafik AAS/FA (Pavithra et al., 2016)

**Langkah 2:** penentuan konten aktivator (Pavithra et al., 2016)

Perbandingan Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> dengan NaOH = R

$$\text{Mass AAS} = \text{Mass of NaOH} (R+1) \quad (3)$$

$$\text{Mass NaOH} = \text{Mass of AAS} / (R+1) \quad (4)$$

$$\text{Mass Na}_2\text{SiO}_3 = R \times \text{Mass NaOH} \quad (5)$$

**Langkah 3:** Menghitung kadar agregat kasar (SNI 03-6468-2000)

Tabel 1. Fraksi volume agregat kasar yang disarankan

Ukuran (mm)	10	15	20	25
Fraksi volume padat kering oven	0,65	0,68	0,72	0,75

Kadar Agregat Kasar (kg) = Fraksi Volume x Berat Volume Split Kering Oven (6)

**Langkah 4:** Menghitung kadar rongga dan kadar air (SNI 03-6468-2000)

Kadar rongga udara (V)

$$V = \frac{(1 - \text{Berat isi padat kering oven})}{\text{berat jenis relatif (kering)}} \times 100 \quad (7)$$

Air tambahan (kg) = (V - 35) x 4,75 (8)

**Langkah 5:** Menghitung kadar agregat halus (volume absolut)

Vol Pasir = 1000 - vol pasta - vol split (9)

$$= 1000 - \left( \frac{\text{Fly Ash}}{\text{BJ FA}} - \frac{\text{NaOH}}{\text{BJ NaOH}} - \right)$$

$$\left( \frac{\text{Na}_2\text{SiO}_3}{\text{BJ Na}_2\text{SiO}_3} - \frac{\text{Air}}{\text{BJ Air}} \right) - \left( \frac{\text{Split}}{\text{BJ Split}} \right) \quad (10)$$

Pasir (kg) = volume x berat jenis pasir kering (11)

**Langkah 6:** Menghitung kadar admixture

Admixture (kg) = Dosis (%) x Berat fly ash (12)

Keterangan:

- AAS : *Alkaline Activator Solution*
- AAS/FA : *Alkaline Activator Solution to Fly Ash*
- NaOH : *Sodium hydroxide*
- Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> : *Sodium silicate*

**f. Trial Mix Beton**

*Trial mix* beton adalah percobaan pencampuran beton yang sudah didesain sebelumnya untuk mengetahui sifat karakteristik beton itu sendiri. Proses *trial mix* beton mengikuti langkah Berikut:

- 1) Lakukan pengecekan kadar air pada agregat halus dan agregat kasar
- 2) Lakukan koreksi terhadap berat material pada *mix design*.
- 3) Lakukan penimbangan sesuai *mix design* yang sudah dikoreksi kadar air dan dikonversi ke volume *trial mix*
- 4) Campur NaOH, Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> dan admixture yang sudah ditimbang dalam satu wadah sampai tercampur merata (membuat larutan aktivator)
- 5) Kemudian masukkan agregat halus, agregat kasar, fly ash dan air ke dalam mixer lalu putar mixer sampai bahan tercampur merata
- 6) masukkan aktivator yang sudah diaduk sebelumnya dan nyalakan mixer sampai beton homogen
- 7) Setelah homogen tuang beton ke gerobak.

- 8) Lakukan pengujian *workability (slump)*, *setting time* (waktu ikat) dan pembuatan benda uji.
- 9) Buka benda uji setelah  $24 \pm 8$  jam
- 10) Kemudian oven benda uji selama 6 jam dengan suhu  $80^{\circ}\text{C}$ .

### g. Pengujian *Workability (Slump Beton)*

Pengujian nilai *slump* sesuai SNI 1972-2008 pengujian ini bertujuan untuk mengetahui *workability* dari beton dengan mengukur penurunan beton pada saat pengujian *slump*.



Gambar 4. Pengujian *Slump*

### h. Pengujian *Setting Time*

Pengujian *setting time* atau waktu ikat sesuai ASTM C403/C403M-99, 1999 dengan tujuan untuk mendapatkan waktu ikat awal dan waktu ikat akhir.

### i. *Curing*

Benda uji dioven selama 6 jam dengan suhu  $80^{\circ}\text{C}$ . Setelah dioven benda uji *dicuring* pada suhu ruang sampai umur pengujian.

### j. Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan sesuai SNI 1974:2011, 2011 menggunakan silinder ukuran 10x20 cm dengan umur pengujian 3 hari, 7 hari, 14 hari dan 28 hari, masing-masing 3 silinder. Karena menggunakan benda uji yang lebih kecil yaitu silinder 10x20 cm maka hasil kuat tekan harus dikali dengan faktor koreksi yaitu 0,9 (Li et al., 2022).

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Pengujian Material

Berdasarkan hasil pengujian agregat halus pada Tabel 2 agregat halus pasir galunggung dapat digunakan sebagai bahan/material campuran beton.

Tabel 2. Hasil uji agregat halus

No	Jenis Pengujian	Hasil Uji
1.	Kadar Organik	No. 3
2.	Analisa Saringan	FM 2,92
3.	Berat Jenis SSD	2,54
4.	Berat Jenis Kering	2,46
5.	Penyerapan	3,56 %
6.	Berat Volume	1611,2 kg/m <sup>3</sup>
7.	Kadar Lumpur	2,96 %
8.	<i>Clay Lumps</i>	1,56 %

Berdasarkan hasil pengujian agregat kasar pada Tabel 3 agregat kasar split purwakarta 10-25 dapat digunakan sebagai bahan/material campuran beton.

Tabel 3. Hasil uji agregat kasar

No	Jenis Pengujian	Hasil Uji
1.	Analisa Saringan	FM 8,06
2.	Berat Jenis SSD	2,62
3.	Berat Jenis Kering	2,57
4.	Penyerapan	1,97 %
5.	Berat Volume	1437,5 kg/m <sup>3</sup>
6.	Kadar Lumpur	0,87%
7.	<i>Clay Lumps</i>	1,19 %
8.	Abrasi	13,69 %

Tabel 4. Hasil uji fly ash PLTU Lontar

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	MnO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>
46,86	27,10	9,47	8,12	2,91	0,77	1,21	0,13	2,07	0,55	0,27

*Fly ash* yang digunakan adalah *fly ash* PLTU Lontar dan telah dilakukan pengujian di laboratorium Sucofindo pada bulan Desember 2020.

### Rencana Campuran Beton (*Mix Design*)

Dengan menggunakan data pengujian agregat halus dan agregat kasar yang sudah dilakukan, didapatkan hasil rencana campuran beton (*mix design*) seperti pada Tabel 5.

Tabel 5. Rencana campuran beton 1m<sup>3</sup> (satuan dalam kg)

KODE	FA	AKTIVATOR		SPLIT	PASIR	AIR	Admx
		NaOH	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>				
5 M	500	80	120	1144	368	27	20
8 M	500	80	120	1144	368	27	20
11 M	500	80	120	1144	368	27	20
14 M	500	80	120	1144	368	27	20

Dalam pelaksanaan *trial mix* terdapat kadar air pada split sebesar 0.16% dan pada pasir 4,34% dan setiap variasi campuran akan dibuat 12 silinder 10x20 cm dan sampel untuk pengujian *setting time* (waktu ikat), sehingga komposisi *mix design* pada tabel 5 harus dikoreksi dan dikonversi ke volume *trial mix* yaitu 0.03 m<sup>3</sup> seperti pada Tabel 6.

Tabel 6. *Mix design* koreksi kadar & konversi ke volume trial mix 0,03 m<sup>3</sup> (satuan dalam kg)

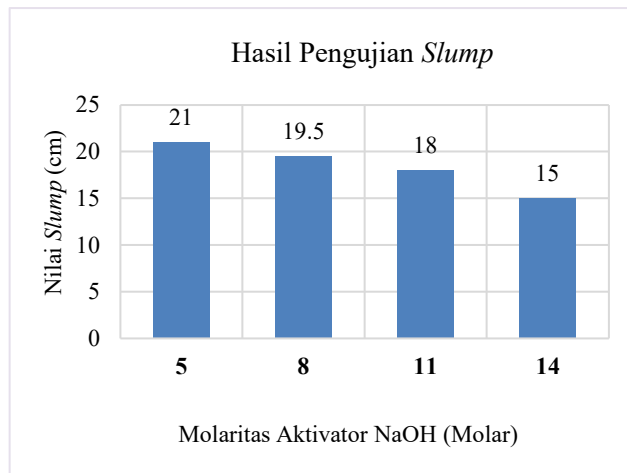
KODE	FA	AKTIVATOR		SPLIT	PASIR	AIR	Admx
		NaOH	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>				
5 M	15,0	2,40	3,60	34,37	11,53	0,25	0,60
8 M	15,0	2,40	3,60	34,37	11,53	0,25	0,60
11 M	15,0	2,40	3,60	34,37	11,53	0,25	0,60
14 M	15,0	2,40	3,60	34,37	11,53	0,25	0,60

### Hasil Pengujian Beton Geopolymer

Nilai *slump* beton *geopolymer* berbahan dasar limbah *fly ash* PLTU Lontar mengalami penurunan setiap variasi aktivator (NaOH) 5 Molar, 8 Molar, 11 Molar dan 14 Molar yaitu 21 cm, 19,5 cm, 18 cm dan 15 cm (Gambar 5). Hasil ini membuktikan bahwa nilai/tingkat konsentrasi aktivator (NaOH)



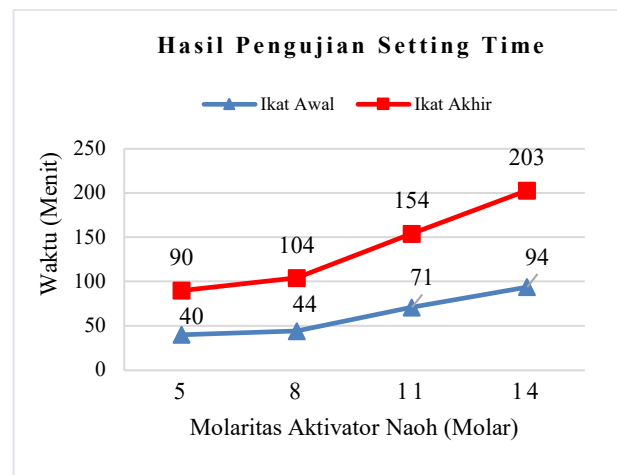
mempengaruhi *workability* beton *geopolymer*, semakin tinggi nilai/tingkat molaritas aktivator (NaOH), *workability* beton *geopolymer* berbahan dasar limbah *fly ash* PLTU Lontar akan semakin rendah.



Gambar 5. Hasil pengujian *slump*

Tabel 7. Hasil pengujian *setting time* (waktu ikat) beton

Variasi Campuran	Setting Time / Waktu Ikat (menit)	
	Ikat Awal	Ikat Akhir
5 M	40	90
8 M	44	104
11 M	71	154
14 M	94	203



Gambar 6. Grafik hasil pengujian *setting time* (waktu ikat)

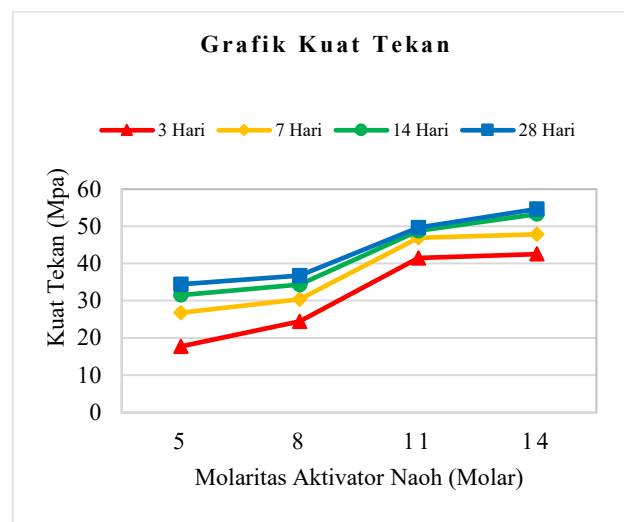
Berdasarkan data pengujian *setting time* pada Tabel 7 dan Gambar 6 waktu ikat beton *geopolymer* berbahan dasar limbah *fly ash* PLTU Lontar mengalami perlambatan pada waktu ikat awal dan waktu ikat akhir. Hasil tersebut menunjukkan bahwa nilai/tingkat molaritas aktivator (NaOH) mempengaruhi *setting time* (waktu ikat) beton *geopolymer* berbahan dasar limbah *fly ash* PLTU Lontar, semakin tinggi nilai/tingkat konsentrasi aktivator (NaOH) maka *setting time* (waktu ikat)

beton *geopolymer* berbahan dasar limbah *fly ash* PLTU Lontar akan semakin melambat.

Dibandingkan dengan penelitian terdahulu hasil pengujian *setting time* (waktu ikat) beton *geopolymer* ini bertolak belakang dengan penelitian yang dilakukan Panjaitan & Herlina, 2020. Pada penelitian ini, diperoleh hasil semakin tinggi molaritas NaOH, maka waktu ikat semakin melambat, sedangkan (Panjaitan & Herlina, 2020) menyimpulkan semakin tinggi molaritas NaOH waktu ikat semakin cepat. Tetapi Panjaitan & Herlina, 2020 dalam jurnalnya tidak menampilkan hasil pengujian *setting time* (waktu ikat) beton *geopolymer*.

Tabel 8. Hasil uji kuat tekan beton dengan faktor koreksi 0,9

Kode	Umur			
	3 Hari (MPa)	7 Hari (MPa)	14 Hari (MPa)	28 Hari (MPa)
5 M	17,77	26,78	31,56	34,44
8 M	24,47	30,33	34,35	36,74
11 M	41,48	46,84	48,77	49,58
14 M	42,56	47,82	53,28	54,60



Gambar 7. Grafik hasil kuat tekan

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan pada Tabel 8 dan Gambar 7 menunjukkan kuat tekan beton *geopolymer* berbahan dasar limbah *fly ash* PLTU Lontar mengalami kenaikan setiap peningkatan nilai molaritas aktivator. Hasil tersebut menunjukkan bahwa tingkat molaritas aktivator (NaOH) mempengaruhi kuat tekan beton *geopolymer*, yakni semakin tinggi tingkat molaritas aktivator (NaOH) maka kuat tekan beton akan semakin tinggi.

Hasil pengujian kuat tekan tersebut sejalan dengan penelitian-penelitian terdahulu dimana semakin tinggi tingkat molaritas aktivator (NaOH) maka kuat tekan beton akan semakin tinggi.

Tabel 9. Perbandingan Hasil Penelitian Dengan Penelitian Terdahulu Dengan Tinjauan Yang Sama

Jenis Karakteristik Bahan, Hasil Pengujian & Variasi	Peneliti					Penelitian Ini
	(Karyawan Salain et al., 2021)	(Sari et al., 2018)	(Risdanareni et al., 2017)	(Panjaitan & Herlina, 2020)	(Ekaputri & Triwulan, 2013)	
1. Asal Fly Ash / Pengikat	Fly Ash: PLTU Paiton	Fly Ash: - PLTU Pacitan (A) - Semen Gresik (B) - Petrokimia Gresik (C) - Australia (D)	Fly Ash: - PLTU Paiton - PLTU Rembang - PLTU Tanjung Jati - PT SB - SI - Jepang - Australia	Tidak Disebutkan	Fly Ash: - Semen Gresik Lumpur Sidoarjo Trass	Fly Ash: PLTU Lontar
2. Variasi Campuran	Perbandingan Fly Ash : Aktivator	Perbandingan Asal Fly Ash	Perbandingan Asal Fly Ash	Perbandingan (Review) Jurnal	Perbandingan FA:Lusi:Trass Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> :NaOH Tingkat Molaritas NaOH	Tingkat Molaritas NaOH
3. Pengujian <i>Slump</i> (Workability)	70:30 = 19 cm 65:35 = 22 cm 60:40 = 24 cm	-	-	-	-	5 M = 21 cm 8 M = 19,5 cm 11 M = 18 cm 14 M = 15 cm
<b>kecenderungan</b>	Semakin bertambah % aktivator nilai <i>slump</i> semakin tinggi	-	-	-	-	Semakin tinggi molaritas NaOH nilai <i>slump</i> semakin turun
4. Pengujian (Setting Time (Ikat Awal & Akhir)	-	A = 48 Jam B = 24 Jam C = 24 Jam D = 168 Jam	Y = 18 Menit J = 62 Menit P = 110 Menit Y = 120 Menit R = 42 Menit	-	-	5 M = 40 & 90 Menit 8 M = 44 & 104 Menit 11 M = 71 & 154 Menit 14 M = 94 & 203 Menit
<b>kecenderungan</b>	-	Semakin rendah kandungan kalsium pada <i>fly ash</i> , maka <i>setting time</i> akan semakin lambat	Nilai pH dan kandungan kalsium pada <i>fly ash</i> mempengaruhi <i>setting time</i> .	Data pengujian tidak disajikan, tapi disimpulkan bahwa semakin besar molaritas NaOH semakin mempercepat ikatan awal beton	-	Semakin tinggi tingkat molaritas aktivator NaOH maka <i>setting time</i> akan semakin melambat. (Bertolak belakang dengan (Panjaitan & Herlina, 2020))
5. Pengujian Kuat Tekan	<b>28 Hari</b> 70:30 = - 65:35 = 48,89 MPa 60:40 = -	<b>7 Hari:</b> A = 42,46 MPa B = 42,46 MPa C = 46,71 MPa D = 9,55 MPa	Y = 98 MPa J = 58 MPa P = 40 MPa Y = 47 MPa R = 58 MPa	Dibandingkan antara penelitian satu dengan yang lain dengan umur 1, 3, 7, 14, 28 hari, lama curing oven & suhu curing	Rekomendasi hasil 28 Hari: <b>100% FA</b> = 51.3 MPa <b>75%FA + 25% LK</b> = 15,4 MPa <b>75%FA + 25% LB</b> = 22,3 MPa <b>75%FA+25% Trass</b> = 28,3 MPa	<b>Umur 3,7,14 &amp; 28 hari:</b> 5 M = 17.77, 26.78, 31.56 & 34.44 MPa 8 M = 24.47, 30.33, 31.56, 34.44 MPa 11 M = 41.48, 46.86, 48.77, 49.58 MPa 14 M = 42.56, 47.82, 53.28, 54.60 MPa
<b>kecenderungan</b>	Perbandingan persentase fly ash dengan aktivator mempengaruhi kuat tekan.	Ukuran partikel menjadi faktor penentu kuat tekan beton geopolymer yaitu semakin kecil partikel semakin tinggi kuat tekan.	Jarak partikel menentukan kuat tekan beton <i>geopolymer</i> .	Tingkat molaritas NaOH, suhu & lama curing, dan umur berpengaruh pada kuat tekan beton <i>geopolymer</i>	Semakin tinggi tingkat molaritas aktivator NaOH maka kuat tekan akan semakin meningkat. Semakin tinggi perbandingan berat Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> dan larutan NaOH tidak selalu menghasilkan kuat tekan dan kuat belah yang tinggi.	Semakin tinggi tingkat molaritas aktivator NaOH maka kuat tekan akan semakin meningkat.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan uraian hasil penelitian mengenai bagaimana pengaruh variasi tingkat molaritas aktivator (NaOH) pada beton *geopolymer* berbahan dasar fly ash PLTU Lontar dengan perbandingan AAS/FA = 0,4 dan perbandingan NaOH/Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> = 1,5 terhadap pengujian *workability (slump)*, *setting time* (waktu ikat) dan kuat tekan maka dapat disimpulkan, antara lain:

- 1) Tingkat molaritas aktivator (NaOH) mempengaruhi *workability* (nilai *slump*), dimana semakin tinggi tingkat molaritas aktivator (NaOH) maka *workability* beton *geopolymer* akan semakin rendah (nilai *slump* turun).
- 2) Tingkat molaritas aktivator (NaOH) mempengaruhi *setting time* (waktu ikat) beton, yakni semakin tinggi tingkat molaritas aktivator (NaOH) maka waktu ikat beton akan semakin melambat. Waktu ikat awal dan ikat akhir paling cepat yaitu pada variasi 8 molar yakni 40 menit dan 90 menit sedangkan waktu ikat awal dan waktu ikat akhir yang paling lambat pada variasi 14 molar yakni 90 menit dan 203 menit.
- 3) Tingkat molaritas aktivator (NaOH) mempengaruhi kuat tekan beton, yakni semakin tinggi tingkat molaritas aktivator (NaOH) maka kuat tekan beton akan semakin tinggi. Hasil kuat tekan 28 hari paling tinggi pada campuran variasi NaOH 14 Molar yaitu 54,6 MPa dan paling rendah pada variasi NaOH 8 Molar yaitu 42,56 MPa.
- 4) Berdasarkan hasil penelitian yang sudah dilakukan variasi yang paling optimum adalah *geopolymer* NaOH 14 Molar dengan nilai *slump* 15 cm, waktu ikat awal 90 menit, waktu ikat akhir 203 menit dan kuat tekan umur 28 hari 54,60 Mpa.

Untuk melanjutkan atau mengembangkan beton *geopolymer* berbahan dasar limbah fly ash PLTU Lontar disarankan untuk:

- 1) Karena hasil pengujian *setting time* (waktu ikat) yang sangat cepat pada perbandingan NaOH/Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> = 1,5, disarankan untuk melakukan penelitian variasi molaritas aktivator dengan perbandingan NaOH/Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> yang lebih kecil yaitu 0,5 atau 1,0 dengan harapan didapatkan waktu ikat yang lebih lambat.
- 2) Walaupun hasil penelitian beton *geopolymer* berbahan dasar limbah fly ash PLTU Lontar dengan perbandingan NaOH/Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> = 1,5 ini mendapatkan kuat tekan yang tinggi, tetapi tidak disarankan untuk menggunakannya dalam industri *ready mix* karena waktu ikatnya yang sangat cepat dikhawatirkan beton mengeras di dalam *truck mixer* sebelum sampai di lokasi pengecoran.

#### REFERENSI

- ASTM C403/C403M-99. (1999). Standard Test Method for Time of Setting of Concrete Mixtures by Penetration Resistance. *Annual Book of ASTM Standards*.
- ASTM C494. (2013). Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete. *Annual Book of ASTM Standards*.
- Davidovits, J. (1991). Geopolymers: Inorganic Polymeric New Materials. *Journal of Thermal Analysis*, 37(8), 1633–1656. <https://doi.org/10.1007/BF01912193>
- Ekaputri, J. J., & Triwulan, T. (2013). Sodium sebagai Aktivator Fly Ash, Trass dan Lumpur Sidoarjo dalam Beton Geopolimer. *Jurnal Teknik Sipil*, 20(1), 1. <https://doi.org/10.5614/jts.2013.20.1.1>
- Hamidi, R. M., Man, Z., & Azizli, K. A. (2016). Concentration of NaOH and the Effect on the Properties of Fly Ash Based Geopolymer. *Procedia Engineering*, 148, 189–193. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.568>
- Hassan, A. (2018). Experimental Study of Fly Ash Based Geopolymer Concrete. *International Journal of Advanced Earth Science and Engineering*, 7(1), 635–648. <https://doi.org/10.23953/cloud.ijaese.344>
- Hermawan, A., Wijayanto, D., Aprilia, F., Sari, N. I., & Safitry, N. (2022). Implementasi Perang Dagang Pada Persaingan Industri Semen Di Indonesia Sebagai Ancaman Pertahanan Negara Di Era Milenial. *Journal of Advanced Research in Defense and Security Studies*, 1(1), 1–18. <https://ejournal.hakharainstitute.org/index.php/JARDS/article/view/2>
- Karyawan Salain, I. M. A., Wiryasa, N. M. A., & Adi Pamungkas, I. N. M. M. (2021). Kuat Tekan Beton Geopolimer Menggunakan Abu Terbang. *JURNAL SPEKTRAN*, 9(1), 76–84. <https://doi.org/10.24843/SPEKTRAN.2021.v09.i01.p09>
- Li, Z., Zhou, X., Ma, H., & Hou, D. (2022). Advanced concrete technology. In *Advanced Concrete Technology*. Wiley Blackwell. <https://doi.org/10.1002/9781119806219>
- Oktaviastuti, B., Pandulu, G. D., & Lusiana, E. (2021). Kuat Tekan Beton Geopolymer Berbahan Dasar Abu Terbang (Fly Ash) Sebagai Alternatif Perkerasan Kaku di Daerah Pesisir. *Reka Buana : Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Teknik Kimia*, 6(1), 78–87. <https://doi.org/10.33366/rekabuana.v6i1.2271>
- Panjaitan, P. E., & Herlina, L. (2020). Review Faktor - Faktor yang Mempengaruhi Karakteristik Kuat Tekan Beton Geopolimer. *Jurnal Rekayasa Konstruksi Mekanika Sipil (JRKMS)*, 03(02), 65–79. <https://doi.org/10.54367/jrkms.v3i2.858>
- Pavithra, P., Srinivasula Reddy, M., Dinakar, P., Hanumantha Rao, B., Satpathy, B. K., & Mohanty, A. N. (2016). A mix design procedure for geopolymer concrete with fly ash. *Journal of Cleaner Production*, 133, 117–125. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.041>
- Pengendalian Perubahan Iklim, D. J. (2016). *Perubahan Iklim, Perjanjian Paris, Dan Nationally Determined Contribution* (1 ed.). Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. [https://ditjenppi.menlhk.go.id/reddplus/images/resources/buku\\_pintar/buku-pintar-PPI-21-6-2016-ISBN-FA\\_opt.pdf](https://ditjenppi.menlhk.go.id/reddplus/images/resources/buku_pintar/buku-pintar-PPI-21-6-2016-ISBN-FA_opt.pdf)
- Risdanareni, P., Puspitasari, P., & Januarti Jaya, E. (2017). Chemical and Physical Characterization of Fly Ash as Geopolymer Material. *MATEC Web of Conferences*, 97. <https://doi.org/10.1051/mateconf/20179701031>
- Rozi, M. F., Johannes Tarigan, & Ahmad Perwira. (2020). Analisis Sifat Mekanik Beton Geopolymer Berbahan Dasar Fly Ash PLTU Pangkalan Susu. *Jurnal Health Sains*, 1(5), 567–579. <https://doi.org/10.46799/jsa.v1i5.82>
- Samadhi, T. W., & Pratama, P. P. (2018). Pembuatan Geopolimer Dari Metakaolin dan Abu Terbang. *Jurnal Teknik Kimia*



- Indonesia*, 12(5), 265–274.  
<https://doi.org/10.5614/jtki.2013.12.2.6>
- Santoso, T. B., Prastyanto, C. A., & Ekaputri, J. J. (2021). Pemanfaatan Lumpur Sidoarjo dan Fly Ash Sebagai Material Buatan Berbasis Pasta Berdasarkan Nilai Kuat Tekan dan Keausan. *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, 19(1), 39–44. <https://doi.org/10.12962/j2579-891x.v19i1.8444>
- Sari, D. K., Setyaningsih, E. P., Fansuri, H., & Susanto, T. E. (2018). Kajian Karakteristik Kimia dan Fisika Abu Layang yang Menjadi Penentu Kekuatan Mekanik Perekat Geopolimer Berbahan Dasar Abu Layang. *Akta Kimia Indonesia*, 3(2), 222.  
<https://doi.org/10.12962/j25493736.v3i2.4563>
- Singh, N. B. (2018). Fly ash-based geopolymer binder: A future construction material. *Minerals*, 8(7).  
<https://doi.org/10.3390/min8070299>
- SNI-03-6468-2000. (2000). Tata Cara Perencanaan Campuran Tinggi Dengan Semen Portland. *Badan Standar Nasional*.
- SNI 1972-2008. (2008). Cara Uji Slump Beton. In *Badan Standar Nasional* (hal. 5).
- SNI 1974:2011. (2011). Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder. *Badan Standardisasi Nasional*, 20.

