

# PENGARUH VARIASI WAKTU DAN SUHU PERAWATAN TERHADAP MORTAR GEOPOLIMER DENGAN ABU TERBANG DAN NaOH 12 MOLAR SEBAGAI BAHAN DASAR

**Hafizh Muktabar Irbab**

Program Studi S1 Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email: [hafizirhab@gmail.com](mailto:hafizirhab@gmail.com)

**Arie Wardhono**

Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email: [ariewardhono@unesa.ac.id](mailto:ariewardhono@unesa.ac.id)

## Abstrak

*Portland Cement (PC)* memberikan kontribusi sekitar 7-10% dari total karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) secara global. Inovasi demi inovasi dilakukan untuk mengurangi atau menggantikan semen sebagai material bahan bangunan terus dikembangkan. Abu terbang adalah salah satu terobosan bahan yang digunakan untuk menggantikan semen, akan tetapi Abu terbang tidak memiliki kemampuan mengikat material, sama halnya dengan semen yang membutuhkan aktivator berupa air, bahan ini juga memerlukan aktivator berupa Sodium Hidroksida (NaOH) dan Sodium Silikat (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>). Perawatan geopolimer membutuhkan suhu tinggi agar dapat mempercepat reaksi polimerisasi yang terjadi selama proses pengerasan (Wardhono et al. 2012). Dalam penelitian ini digunakan mortar geopolimer NaOH 12 Molar dengan perawatan suhu 60°C, 80°C, 100°C dan lama waktu 3 jam, 6 jam, dan 24 jam pada setiap temperatur. Hasil menunjukkan bahwa perawatan suhu mampu meningkatkan kuat tekan mortar geopolimer. Kuat tekan tertinggi dihasilkan pada perawatan suhu 100°C selama 6 jam *curing*, Hasil dari uji kuat tekan disetiap usia (7, 14, 28) pada 100°C dalam 6 jam suhu perawatan sebesar 49.93 MPa, 40.73 MPa, 32.21 MPa. Hasil ini menunjukkan bahwa suhu perawatan dapat meningkatkan kuat tekan mortar pada hari ke 7, namun kekuatan tersebut akan berkurang seiring bertambahnya usia mortar.

**Kata Kunci:** Abu terbang, Mortar, Perawatan Suhu, Kuat Tekan.

## Abstract

*Portland Cement (PC)* contributes about 7-10% of total Carbon Dioxide (CO<sub>2</sub>) globally. Many innovation have been done to reduce or replace cement as a building material continues to be developed. Fly ash is one of the innovation materials used to replace cement, but fly ash don't have the ability to bind the materials, just like cement that requires water to be the activators. Fly Ash also requires activators in the form of Sodium Hydroxide (NaOH) and Sodium Silicate (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>). Geopolymer curing requires high temperatures in order to speed up the polymerization reactions during the hardening process (Wardhono et al. 2012). This research using NaOH 12 Molar geopolymer mortar with temperature curing of 60°C, 80°C, 100°C and 3 hours, 6 hours, and 24 hours in each temprature. The results showed that the temperature curing was able to increase the compressive strength of the geopolymer mortar. The highest compressive strength is produced at 100°C for 6 hours heat curing time. The result of compressive strenght in each days (7, 14, 28) at 100°C in 6 hours curing time are 49.93 MPa, 40.73 MPa, 32.21 MPa. these result shown that heat curing method can increase the compressive strength at days 7, but it will decrease the compressive strength of the mortar as the mortar ages.

**Keywords:** Fly Ash, Mortar, Heat Curing, Compressive Strength.

## PENDAHULUAN

Pesatnya pembangunan di era sekarang ini mendorong kebutuhan akan material bangunan salah satunya yakni semen yang semakin meningkat. Diperkirakan bahwa produksi Ordinary Portland Cement (OPC) akan terus melambung mulai dari 1,5 Milyar ton pada 1995 menjadi 2,2 Milyar ton pada 2010 (Malhotra,1999).

Ordinary Portland Cement (OPC) memberikan kontribusi sekitar 7-10% dari total karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) secara global, dan telah ditemukan bahwa satu ton OPC

yang diproduksi akan melepaskan satu ton CO<sub>2</sub> ke atmosfer. Emisi karbon yang tinggi sangat berkontribusi terhadap pemanasan global dan perubahan iklim (Olivia, 2011).

Inovasi untuk mengurangi atau menggantikan semen sebagai material bahan bangunan terus dikembangkan. Para pakar teknologi beton mulai melakukan riset pembuatan beton dengan memanfaatkan ikatan geopolimer. Geopolimer dapat didefinisikan sebagai material yang dihasilkan dari geosintesis aluminosilikat polimerik dan alkali-silikat yang menghasilkan kerangka polimer SiO<sub>2</sub> (silika tetraoksida) dan AlO<sub>4</sub> (aluminium

tetraoksida) yang terikat secara tetrahedral (Davidovits,1994 dalam Pugar 2011).

Selain itu, bahan-bahan alternatif mineral alami dengan kandungan SiO<sub>2</sub> (Silika Oksida) yang tinggi dapat digunakan sebagai pengganti semen salah satunya yakni abu terbang (*Fly Ash*). Abu terbang atau *fly ash* merupakan hasil sampingan pembakaran batu bara yang merupakan material buangan dari industri dan PLTU, yang memiliki kandungan silika (SiO<sub>2</sub>) tinggi. Abu terbang apabila dibuang secara terbuka dapat mengakibatkan pencemaran karena abu terbang mengandung beberapa elemen beracun seperti arsenik, vanadium, antimony, boron dan chromium. Maka salah satu cara agar material hasil produksi sampingan tersebut tidak mengkontaminasi lingkungan adalah dengan menggunakan material tersebut sebagai bahan pengganti sebagian semen (Sumajow M.D.J dan Dapas S.O,2013).

Abu terbang (*fly ash*) tidak memiliki kemampuan mengikat, sama halnya dengan semen yang membutuhkan aktivator berupa air, bahan ini juga memerlukan aktivator berupa Sodium Hidroksida (NaOH) dan Sodium Silikat (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>), oksida silika yang terdapat dalam bahan tersebut akan bereaksi secara kimia dan membentuk ikatan polimer.

Perawatan geopolimer membutuhkan suhu tinggi agar dapat mempercepat reaksi polimerisasi yang terjadi selama proses pengerasan (Wardhono et al. 2012). Dalam penelitian ini, digunakan mortar geopolimer dengan NaOH 12 Molar dengan perawatan suhu 60°C, 80°C, 100°C. Selain itu terdapat variasi waktu pada tiap perawatan suhu tinggi yakni 3 jam, 6 jam, dan 24 jam. Hal ini yang membuat penelitian lebih berfokus pada pembuatan mortar agar proses pengerasan lebih cepat karena ukuran benda ujinya yang relatif lebih kecil.

## METODE

Metode yang dilakukan pada penelitian ini yaitu metode eksperimen yang dilaksanakan di Laboratorium Bahan dan Beton Teknik Sipil Universitas Negeri Surabaya. Adapun rancangan penelitian yang dijelaskan sebagai berikut:

### Persiapan Alat dan Bahan

Sebelum dilakukannya penelitian, dipersiapkan terlebih dahulu alat dan bahan yang dibutuhkan. Bahan yang digunakan adalah pasir, *fly ash*, semen, air suling, Sodium Hidroksida (NaOH) 12 Molar, Sodium Silikat (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>).

### Uji Bahan

Sebelum dilakukannya pembuatan benda uji, bahan-bahan pembentuk mortar geopolimer diuji terlebih dahulu. Tujuan dari pengujian bahan ini adalah untuk mengetahui kualitas dari masing-masing bahan penyusun. Bahan yang diuji sebagai berikut:

#### 1. Pasir

Dalam penelitian ini pengujian pasir mengacu pada SNI 03-4428-1997 dimana meliputi uji berat jenis pasir, uji gradasi pasir, uji penyerapan air, dan uji kadar lumpur yang terkandung dalam pasir.

#### 2. Fly Ash

Pengujian fly ash dalam penelitian ini menggunakan metode uji kandungan kimia yaitu uji XRF (X-ray Fluorescence)

## Pembuatan *Mix Design* Benda Uji

*Mix Design* benda uji dalam penelitian ini didasarkan pada acuan ASTM C579-01 dengan modifikasi. Maka dari itu, dilakukan perhitungan *mix design* untuk mendapatkan rasio dan kebutuhan bahan yang direncanakan dengan variasi rasio *fly ash*, pasir dan alkali aktivator guna mengetahui pengaruhnya terhadap kuat tekan dan porositas

Setelah dilakukan perhitungan takaran bahan yang sesuai terhadap rasio rencana, maka selanjutnya dilakukan pembuatan benda uji. Tahap-tahap pembuatan benda uji sesuai dengan yang tercantum dalam ASTM C579-01. Rencana *mix design* dapat dilihat pada Tabel 1

Tabel 1 Rasio *Mix Design*

Rasio <i>Mix Design</i> dengan kondisi SS/SH 12 Molar =1,5						
<i>Mix Design</i>	PC	Pasir	<i>Fly Ash</i>	Water	Sodium silikat	NaOH 12 Molar
1	1	2,75	0	0,48	0	0
2	0	2,75	1	0,05	0,333	0,222
3	0	2,75	1	0,05	0,333	0,222
4	0	2,75	1	0,05	0,333	0,222
5	0	2,75	1	0,05	0,333	0,222
6	0	2,75	1	0,05	0,333	0,222
7	0	2,75	1	0,05	0,333	0,222
8	0	2,75	1	0,05	0,333	0,222
9	0	2,75	1	0,05	0,333	0,222
10	0	2,75	1	0,05	0,333	0,222
11	0	2,75	1	0,05	0,333	0,222

Sumber: Hasil Perhitungan

## Perawatan Benda Uji

Proses perawatan dilakukan menggunakan oven dengan suhu 60°C, 80°C, dan 100°C, dengan variasi suhu masing-masing suhu 3 jam, 6 jam, dan 24 jam.

## Pengujian Benda Uji

Penelitian ini melakukan 2 jenis pengujian pada benda uji yang dibuat antara lain:

### 1. Uji Kuat Tekan

Tahap Pengujian kuat tekan terhadap benda uji dilakukan saat sampel berumur 7, 14 dan 28 hari. Pengujian kuat tekan dilaksanakan di Laboratorium Bahan dan Beton Jurusan Teknik Sipil Universitas Negeri Surabaya dengan menggunakan alat uji Universal Testing Machine WE – 600B, 360V atau yang sering disebut dengan Dial Gauge yang merupakan produksi China.

Pada pengujian sampel tiap umur rencana diwakili 3 buah benda uji. Dari masing-masing variasi suhu dan waktu.

### 2. Uji Porositas

Tahap pengujian porositas terhadap benda uji dilakukan saat sampel benda uji berumur 7, 14, dan 28 hari. Pengujian porositas dilaksanakan di Laboratorium Bahan dan Beton Jurusan Teknik Sipil

Universitas Negeri Surabaya dengan merendam benda uji dalam air lalu menimbang berat benda uji tersebut.

Pada pengujian sampel tiap umur rencana diwakili 2 buah benda uji. Dari masing-masing variasi suhu dan waktu.

### 3. Uji Vikat

Menentukan konsistensi normal dari semen untuk penentuan berapa lama pengikatan semen yang akan terjadi. Menurut SNI 03-6827-2002 tentang metode pengujian waktu ikat awal semen Portland dengan menggunakan alat vikat untuk pekerjaan sipil dapat digunakan perhitungan sebagai berikut:

$$\frac{\text{selisih waktu penurunan } 1-x}{x-\text{Selisih waktu penurunan } 2} = \frac{\text{penurunan } 1-x}{x-\text{penuruna } 2} \text{ (menit)}$$

### Analisis Data

Dilakukannya analisis data bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh suhu perawatan terhadap kuat tekan dan porositas mortar geopolimer

### Kesimpulan dan Saran

Tahap ini merupakan tahap akhir dari rancangan penelitian. Data informasi yang diperoleh dari penelitian diolah, kemudian ditarik kesimpulan untuk menjawab dan mengetahui dari hasil penelitian tersebut dapat diambil kesimpulan untuk mengetahui dan menjawab tujuan dari penelitian ini. Selanjutnya dapat direkomendasikan dan diberikan saran guna mengembangkan penelitian lebih lanjut.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Uji Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan pada benda uji mortar bertujuan untuk mendapatkan nilai kuat tekan pada mortar dengan prosedur yang benar. Benda uji mortar dilakukan pengujian berupa uji kuat tekan yang dilakukan pada usia 7, 14, dan 28 hari. Hasil uji kuat tekan mortar disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2 Hasil Uji Kuat Tekan Mortar

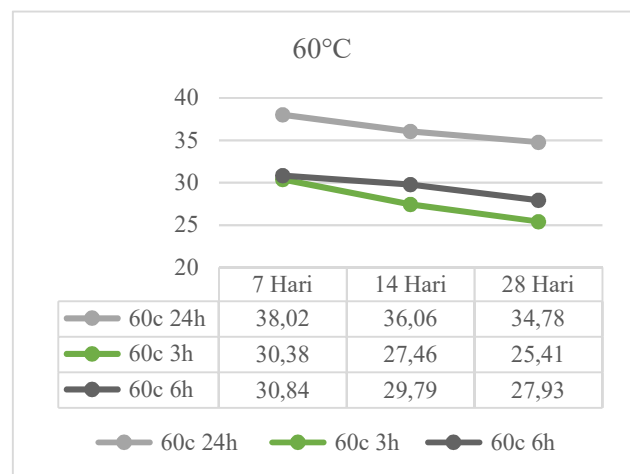
MIX	Keterangan	Kuat Tekan (MPa)		
		7 hari	14 Hari	28 Hari
1	Kontrol PC	9,76	8,96	14,30
2	Kontrol 12M	24,12	36,38	39,99
3	60c 24 Jam	38,02	36,06	34,78
4	80c 24 Jam	40,56	32,82	27,69
5	100c 24 Jam	48,74	43,26	40,75
6	60c 3 Jam	30,38	27,46	25,41
7	80c 3 Jam	35,53	32,00	29,76
8	100c 3 Jam	37,28	36,26	35,27
9	60c 6 Jam	30,84	29,79	27,93
10	80c 6 Jam	38,52	26,97	21,48
11	100c 6 Jam	49,93	40,73	32,21

Sumber: Data Primer

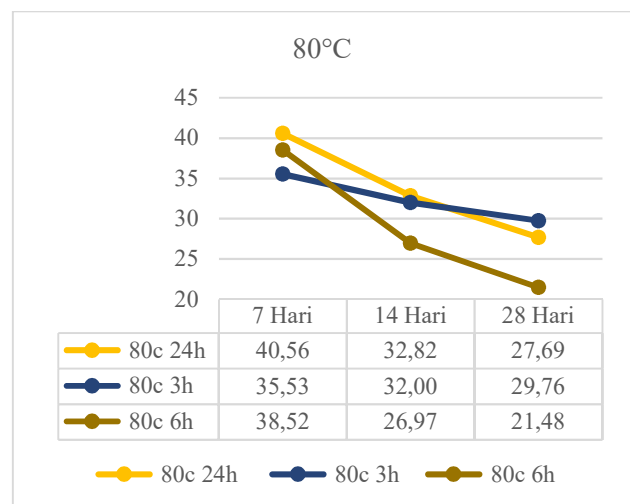
Berdasarkan Tabel 2 menunjukkan hasil kuat tekan dengan *room temperature* usia 7, 14, dan 28 hari mengalami kenaikan secara konsisten namun sebaliknya dengan *heat*

*curing*, nilai kuat tekan cenderung turun seiring bertambahnya usia benda uji.

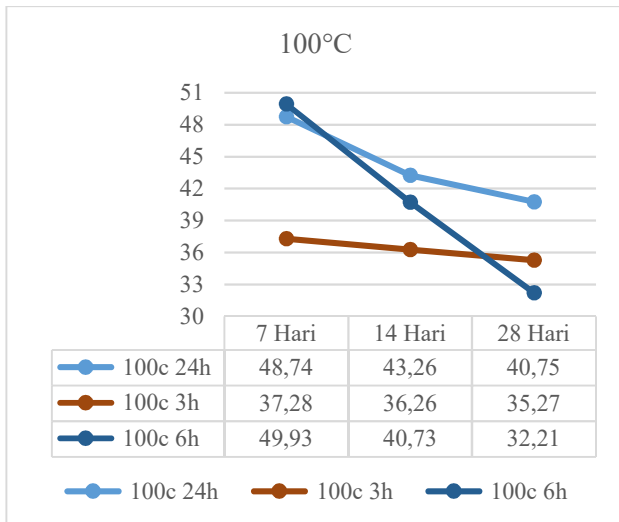
Nilai kuat tekan tertinggi dengan *room temperature* dicapai *mix* 2 Kontrol 12M atau mortar geopolimer dengan *room temperature* yakni sebesar 39,99 MPa pada usia 28 hari, namun nilai kuat tekan terendah dengan *room temperature* dicapai oleh *mix* 1 Kontrol PC atau mortar Semen Portland dengan *room temperature* yakni sebesar 8,96 MPa pada usia 14 hari. Nilai kuat tekan tertinggi dengan *heat curing* dicapai *mix* 11 100°C selama 6 Jam yakni sebesar 49,93 MPa pada usia 7 hari, namun nilai kuat tekan terendah dengan *heat curing* dicapai *mix* 10 80°C selama 6 Jam yakni sebesar 21,48 MPa pada usia 28 hari. Adapun grafik hubungan antara *heat curing* dengan kuat tekan yang disajikan pada Gambar berikut:



Gambar 1 Grafik hubungan pengaruh *heat curing* 60°C terhadap kuat tekan  
Sumber: Data Primer



Gambar 2 Grafik hubungan pengaruh *heat curing* 80°C terhadap kuat tekan  
Sumber: Data Primer



Gambar 3 Grafik hubungan pengaruh *heat curing* 80°C terhadap kuat tekan  
 Sumber: Data Primer

Dari ketiga Gambar diatas dapat disimpulkan *heat curing* mempengaruhi nilai kuat tekan, seperti pada Gambar 1 yang menunjukkan proses *heat curing* selama 60°C mengalami perubahan kuat tekan, dimana pada usia 7 hari nilai kuat tekan masing-masing *mix* relatif tinggi, namun ketika usia 14 hari dan 28 hari nilai kuat tekan mortar mengalami penurunan yang signifikan. Begitupun juga dengan *heat curing* 80°C dan *heat curing* 100°C mengalami perubahan kuat tekan, dimana pada usia 7 hari nilai kuat tekan masing-masing *mix* relatif tinggi, namun nilai kuat tekan menurun saat usia 14 hari dan 28 hari.

### Hasil Uji Porositas

Uji porositas mortar geopolimer dilakukan pada usia 7, 14, dan 28 hari. Hasil uji porositas disajikan pada tabel berikut:

Tabel 3 Hasil uji porositas mortar

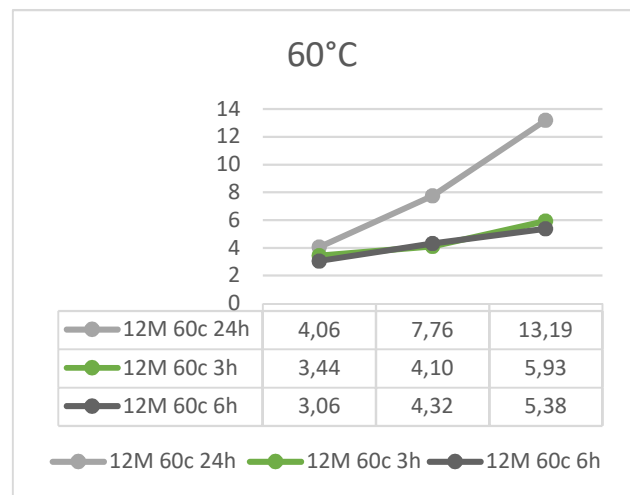
MIX	Keterangan	Kuat Tekan (MPa)		
		7 hari	14 Hari	28 Hari
1	Kontrol PC	7,99	8,64	11,00
2	Kontrol 12M	4,97	10,76	15,11
3	60c 24 Jam	4,06	7,76	13,19
4	80c 24 Jam	3,57	3,58	7,40
5	100c 24 Jam	2,43	3,37	3,66
6	60c 3 Jam	3,44	4,10	5,93
7	80c 3 Jam	5,50	6,44	8,45
8	100c 3 Jam	2,22	4,41	6,42
9	60c 6 Jam	3,06	4,32	5,38
10	80c 6 Jam	3,41	3,99	6,79
11	100c 6 Jam	3,41	3,84	8,30

Sumber: data Primer

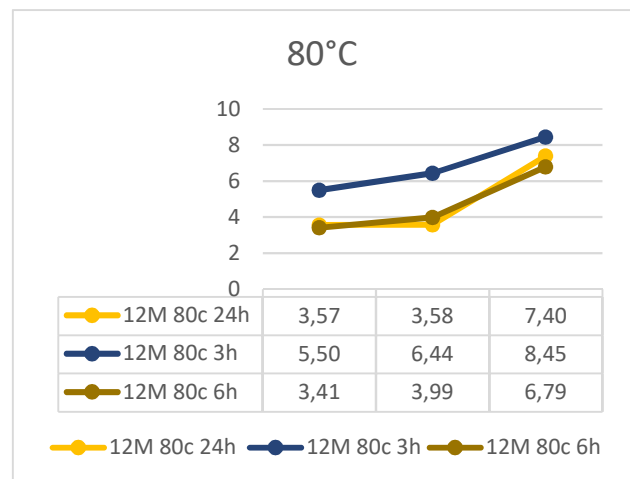
Berdasarkan Tabel 3 menunjukkan hasil porositas *mix* 1 Kontrol PC dengan *room temperature* usia 7, 14, dan 28

hari memiliki nilai porositas yang inkonsisten. Namun sebaliknya dengan mortar geopolimer, nilai porositas konsisten naik seiring bertambahnya usia benda uji.

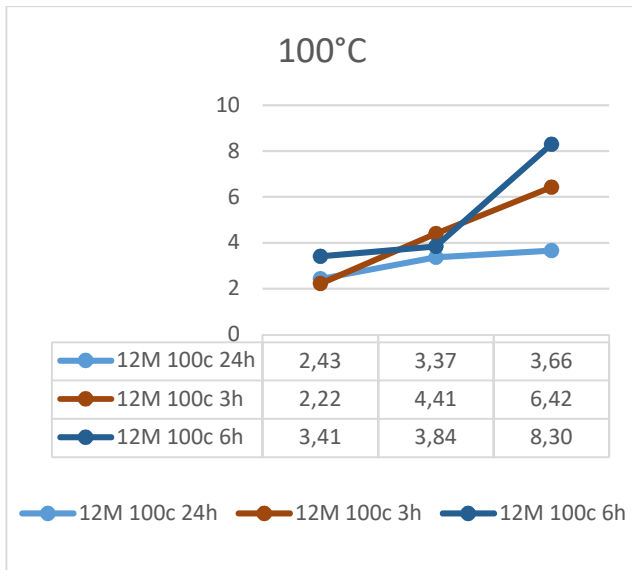
Nilai porositas tertinggi dengan *room temperature* dicapai *mix* 2 Kontrol 12M atau mortar geopolimer dengan *room temperature* yakni sebesar 15,11% pada usia 28 hari, namun nilai porositas terendah dengan *room temperature* dicapai oleh *mix* 2 Kontrol 12M atau mortar geopolimer dengan *room temperature* yakni sebesar 4,97% pada usia 7 hari. Nilai porositas tertinggi dengan *heat curing* dicapai *mix* 3 60°C selama 24 Jam yakni sebesar 13,19% pada usia 7 hari, namun nilai porositas terendah dengan *heat curing* dicapai *mix* 8 100°C selama 3 Jam yakni sebesar 2,22% pada usia 7 hari. Adapun grafik hubungan antara *heat curing* dengan porositas yang disajikan pada Gambar berikut:



Gambar 4 Grafik hubungan pengaruh *heat curing* 60°C terhadap porositas  
 Sumber: Data Primer



Gambar 5 Grafik hubungan pengaruh *heat curing* 80°C terhadap porositas  
 Sumber: Data Primer



Gambar 6 Grafik hubungan pengaruh *heat curing* 100°C terhadap porositas  
Sumber: Data Primer

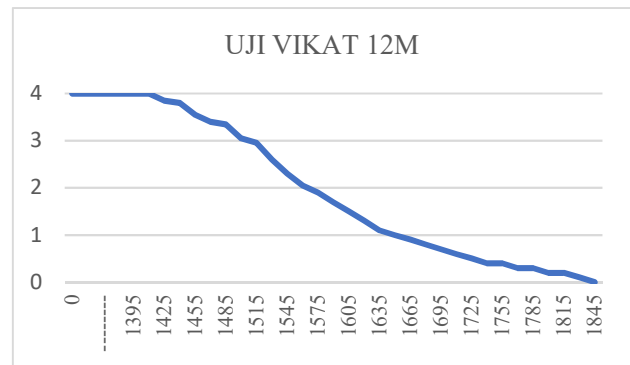
### Hasil Uji Vikat

Uji Vikat bertujuan untuk mengetahui awal mula pengikat pada mortar bereaksi dan lama waktu ikat pasta. Pengujian vikat dilakukan dengan menggunakan 2 tipe pasta yakni pasta semen Portland dan pasta geopolymer. Hasil yang didapatkan dari uji vikat pasta geopolimer disajikan pada Tabel 4 dan Gambar 7

Tabel 4

DATA VIKAT 12M	
Waktu (menit)	Penurunan Jarum (cm)
0	4
15	4
-----	4
1380	4
1395	4
1410	4
1425	3,85
1440	3,8
1455	3,55
1470	3,4
1485	3,35
1500	3,05
1515	2,95
1530	2,6
1545	2,3
1560	2,05
1575	1,9
1590	1,7
1605	1,5
1620	1,3
1635	1,1
1650	1
1665	0,9
1680	0,8
1695	0,7

DATA VIKAT 12M	
Waktu (menit)	Penurunan Jarum (cm)
1710	0,6
1725	0,5
1740	0,4
1755	0,4
1770	0,3
1785	0,3
1800	0,2
1815	0,2
1830	0,1
1845	0



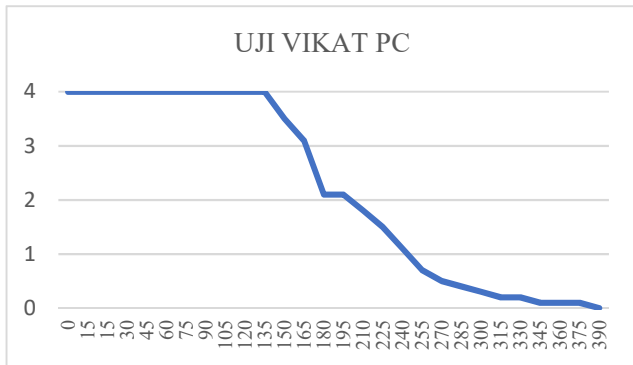
Gambar 7 Grafik Uji Vikat Pasta geopolimer

Dari Tabel 4 dan Gambar 7 dapat dilihat pasta geopolimer memperlihatkan waktu ikat awal (*initial setting time*) yakni 1425 menit dan waktu ikat akhir (*final setting time*) yakni 1845 menit. Adapun hasil yang didapatkan dari uji vikat pasta geopolimer untuk waktu pengikatan awal dan pengikatan akhir disajikan pada Tabel 5 dan Gambar 8

Tabel 5

DATA VIKAT 12M	
Waktu (menit)	Penurunan Jarum (cm)
0	4
15	4
30	4
45	4
60	4
75	4
90	4
105	4
120	4
135	4
150	4
165	3,5
180	3,1
195	2,1
210	2,1
225	1,8
240	1,5
255	1,1
270	0,7
285	0,5
300	0,4

315	0,3
330	0,2
345	0,2
360	0,1
375	0,1
390	0,1
405	0



Gambar 8 Grafik Uji Vikat Pasta semen Portland

Ket: ----- = menit 15-1410 tidak terjadi reaksi pada jarum vikat  
 Dari Tabel 5 dan Gambar 8 dapat dilihat pasta geopolimer memperlihatkan waktu ikat awal (*initial setting time*) yakni 1425 menit dan waktu ikat akhir (*final setting time*) yakni 1845 menit.

### Pembahasan

Pada penelitian ini difokuskan pada hasil uji kuat tekan dan porositas saat usia 7, 14, dan 28 hari yang dipengaruhi oleh proses heat curing dengan variasi suhu 60°C, 80°C, 100°C selama 3, 6, 24 jam pada masing-masing variasi. Karena pada Penelitian ini fokus pada hasil pengaruh heat curing terhadap kuat tekan dan porositas terhadap masing-masing variasi pada saat usia 7, 14, dan 28 hari. Dalam Analisa hubungan kuat tekan dan porositas terhadap heat curing dengan variasi suhu yang ditentukan pada saat usia 7, 14, dan 28 hari yang disajikan pada Tabel 6

Tabel 6 Hasil Uji Pra-Penelitian 7 Hari

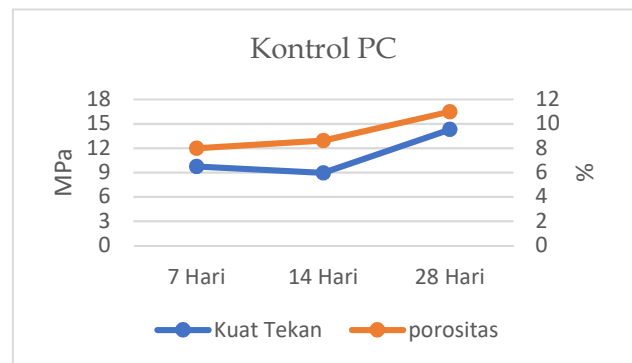
MIX	Keterangan	REKAPITULASI RERATA					
		Kuat Tekan (MPa)			Porositas (%)		
		7 hari	14 Hari	28 Hari	7 Hari	14 Hari	28 Hari
1	Kontrol PC	9,76	8,96	14,30	7,99	8,64	11,00
2	Kontrol 12M	24,12	36,38	39,99	4,97	10,76	15,11
3	12M 60c 24h	38,02	36,06	34,78	4,06	7,76	13,19
4	12M 80c 24h	40,56	32,82	27,69	3,57	3,58	7,40
5	12M 100c 24h	48,74	43,26	40,75	2,43	3,37	3,66
6	12M 60c 3h	30,38	27,46	25,41	3,44	4,10	5,93
7	12M 80c 3h	35,53	32,00	29,76	5,50	6,44	8,45
8	12M 100c 3h	37,28	36,26	35,27	2,22	4,41	6,42
9	12M 60c 6h	30,84	29,79	27,93	3,06	4,32	5,38
10	12M 80c 6h	38,52	26,97	21,48	3,41	3,99	6,79
11	12M 100c 6h	49,93	40,73	32,21	3,41	3,84	8,30

Berdasarkan Tabel 6 dapat disimpulkan mortar geopolimer 12M dengan perawatan suhu tinggi memiliki nilai kuat tekan yang tinggi, sedangkan mortar geopolimer 12M dengan perawatan suhu rendah memiliki nilai kuat tekan yang rendah. Selain itu pada Tabel 4.6 dapat disimpulkan nilai kuat tekan pada Mortar geopolimer 12M cenderung menurun seiring bertambahnya usia. Selain kuat tekan adapun porositas yang menjadi fokus pada penelitian ini, porositas yang dihasilkan oleh benda uji cenderung naik seiring bertambahnya usia hal ini berbanding terbalik dengan nilai kuat tekan yang cenderung menurun seiring bertambahnya usia benda uji.

Berdasarkan pernyataan diatas dapat disimpulkan nilai kuat tekan mempengaruhi nilai porositas mortar geopolimer. Dari data yang didapatkan, maka dapat dibandingkan hasil kuat tekan dan porositas dengan analisa menurut heat curing dengan variasi suhu sebagai berikut:

### Suhu ruangan normal (*Room Temperature*)

Pada perawatan menggunakan suhu ruangan normal digunakan 2 mix design yaitu dengan bahan portland semen dan geopolimer untuk tujuan sebagai kontrol.



Gambar 9 pengaruh perawatan suhu ruang pada Kontrol PC



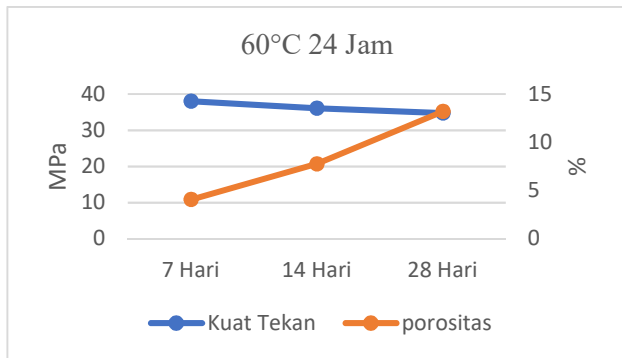
Gambar 10 pengaruh perawatan suhu ruang pada Kontrol FA

Dari kedua Gambar diatas dapat disimpulkan benda uji dengan pengikat yang berbeda menghasilkan nilai yang berbeda juga. Nilai kuat tekan mix 2 cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan mix 1, lalu nilai porositas yang didapat porositas pada mix 2 lebih optimum bila dibandingkan dengan mix 1. Maka dapat disimpulkan

benda uji mix 2 dengan aktivator FA lebih optimum dibandingkan dengan mix 2 dengan aktivator PC.

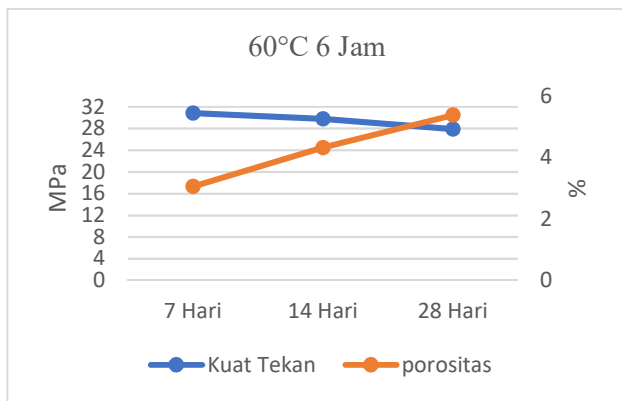
**Heat Curing 60°C**

Proses *heat curing* 60°C dilakukan selama waktu rentan yang berbeda-beda yakni 24 jam, 6 jam, dan 3 jam hal ini dilakukan supaya hasil kuat tekan dan porositas dapat dibandingkan.



Gambar 11 pengaruh *heat curing* 60°C selama 24 jam terhadap kuat tekan dan porositas

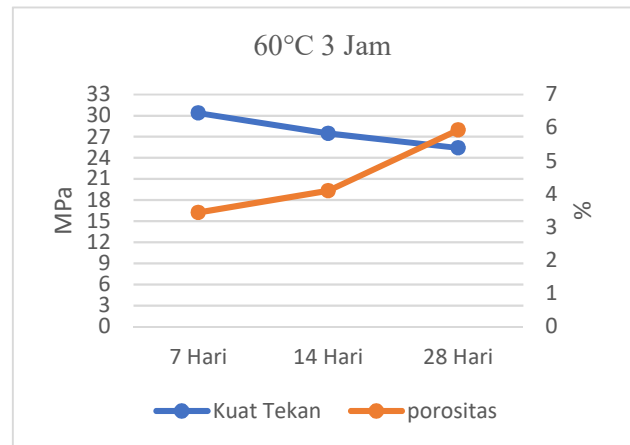
*Heat curing* 60°C selama 24 jam yang mengacu pada Tabel 6 dan Gambar 11 pengujian kuat tekan 7 hari mampu menghasilkan 38,02 MPa dan porositas sebesar 4,06%, pengujian kuat tekan 14 hari mampu menghasilkan 36,38 MPa dan porositas sebesar 7,76%, lalu pada saat pengujian kuat tekan 28 hari sebesar 34,78 dan porositas sebesar 13,19%. Maka pada *heat curing* 60°C selama 24 jam membuktikan bahwa semakin rendah kuat tekan yang diampu semakin tinggi porositas yang dihasilkan.



Gambar 12 pengaruh *heat curing* 60°C selama 6 jam terhadap kuat tekan dan porositas

*Heat curing* 60°C selama 6 jam yang mengacu pada Tabel 6 yang disajikan pada Gambar 12, pengujian kuat tekan 7 hari menghasilkan nilai kuat tekan yang relatif rendah yakni 30,84 MPa dan porositas sebesar 3,06%, pengujian 14 hari nilai kuat tekan yang dapat diampu sebesar 29,79 MPa dan porositas sebesar 4,32%, pengujian kuat tekan 28 hari mampu menghasilkan 27,93 MPa dan porositas sebesar 5,38%. Maka pada *heat curing* 60°C selama 6 jam membuktikan bahwa semakin rendah kuat

tekan yang diampu semakin tinggi porositas yang dihasilkan.

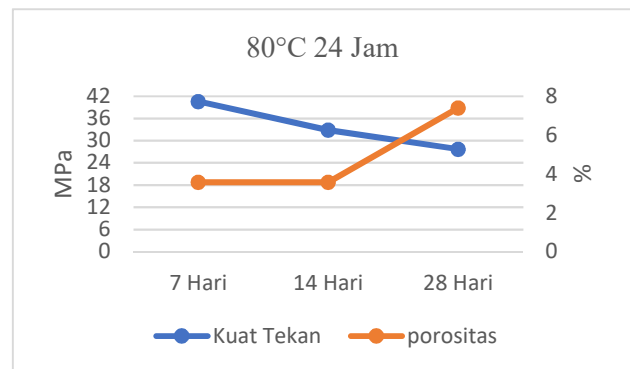


Gambar 13 pengaruh *heat curing* 60°C selama 6 jam terhadap kuat tekan dan porositas

*Heat curing* 60°C selama 3 jam yang mengacu pada Tabel 6 yang disajikan pada Gambar 13, pengujian kuat tekan 7 hari mampu menghasilkan 30,38 dan porositas sebesar 3,44%, pengujian 14 hari kuat tekan memiliki nilai kuat tekan sebesar 27,46 MPa dan nilai porositas 4,10%, pada pengujian kuat tekan 28 hari memiliki nilai sebesar 25,41 MPa dan porositas 5,93%. Maka pada *heat curing* 60°C selama 3 jam membuktikan bahwa semakin rendah kuat tekan yang diampu semakin tinggi porositas yang dihasilkan.

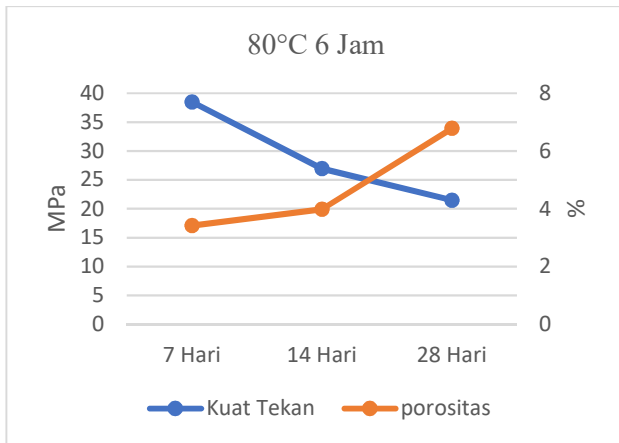
**Heat Curing 80°C**

Proses *heat curing* 80°C dilakukan selama dalam waktu rentan yang berbeda-beda yakni 24 jam, 6 jam, dan 3 jam hal ini dilakukan supaya hasil kuat tekan dan porositas dapat dibandingkan.



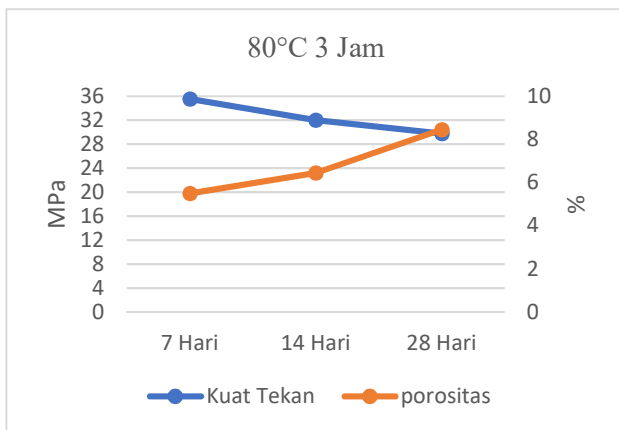
Gambar 14 pengaruh *heat curing* 80°C selama 24 jam terhadap kuat tekan dan porositas

Proses *heat curing* 80°C selama 24 jam yang mengacu pada Tabel 6 dan disajikan pada Gambar 14, pengujian kuat tekan 7 hari mampu menghasilkan nilai yang cukup tinggi yakni 40,56 MPa dan nilai porositas sebesar 3,57%, pengujian 14 hari memiliki nilai kuat tekan 32,82 MPa dan porositas 3,58%, lalu nilai kuat tekan pada 28 hari sebesar 27,69 MPa dan porositas sebesar 7,4%



Gambar 15 pengaruh *heat curing* 80°C selama 6 jam terhadap kuat tekan dan porositas

*Heat curing* 80°C selama 6 jam yang mengacu pada Tabel 6 dan disajikan pada Gambar 15, pengujian kuat tekan 7 hari menghasilkan nilai kuat tekan yang cukup tinggi yakni 38,52 MPa dan uji porositas sebesar 3,41%, pada saat pengujian 14 hari nilai kuat tekan menurun menjadi 29,79 MPa dan uji porositas 14 hari sebesar 3,99%, lalu pengujian 28 hari nilai kuat tekan menurun 21,48 MPa dan nilai porositas sebesar 6,79%.

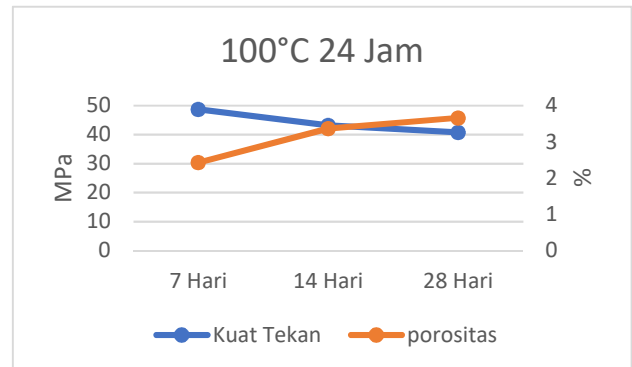


Gambar 16 pengaruh *heat curing* 80°C selama 3 jam terhadap kuat tekan dan porositas

Proses *heat curing* 80°C selama 3 jam yang mengacu pada Tabel 6 dan disajikan pada Gambar 16, uji kuat tekan 7 hari memiliki nilai sebesar 35,53 MPa dan uji porositas sebesar 5,5%, pada saat pengujian 14 hari nilai kuat tekan menurun menjadi 32 MPa dan uji porositas sebesar 6,44%, lalu pengujian 28 hari nilai kuat tekan menurun menjadi 29,76 MPa dan nilai porositas sebesar 8,45%. Dari data diatas maka dapat disimpulkan bahwa *heat curing* 80°C nilai kuat tekan yang diampu menurun seiring bertambahnya usia benda uji, namun sebaliknya porositas semakin naik, dan ini membuktikan bahwa semakin rendah kuat tekan yang diampu semakin tinggi porositas yang dihasilkan.

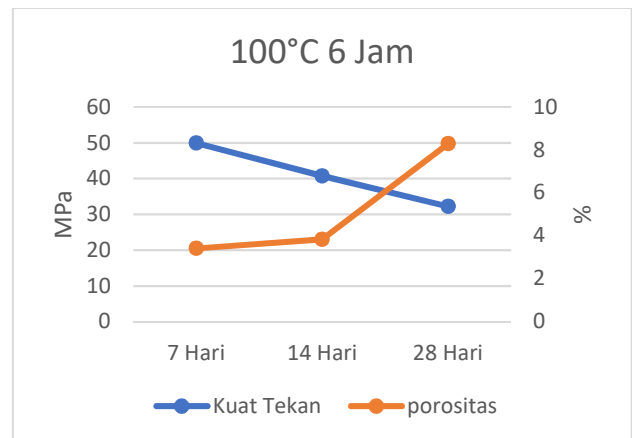
### Heat Curing 100°C

Pada proses *heat curing* 100°C dilakukan dalam waktu rentan yang berbeda-beda yakni 24 jam, 6 jam, dan 3 jam sebagai perbandingan hasil.



Gambar 17 pengaruh *heat curing* 100°C selama 24 jam terhadap kuat tekan dan porositas

Proses *heat curing* 100°C selama 24 jam yang mengacu pada Tabel 6 dan Gambar 17, pengujian kuat tekan pada 7 hari mampu menghasilkan nilai kuat tekan yang sangat tinggi yakni 48,74 MPa dan untuk nilai porositas yang didapat yakni 2,43%, selanjutnya pengujian kuat tekan 14 hari didapatkan nilai yang cukup tinggi yakni sebesar 43,26 MPa dan porositas sebesar 3,37%, pengujian 28 hari nilai kuat tekan yang didapat cukup tinggi 40,75 MPa dan nilai porositas sebesar 3,66%. Dari pernyataan diatas maka dapat disimpulkan *heat curing* 100°C nilai kuat tekan menurun seiring bertambahnya usia, namun sebaliknya porositas semakin naik.

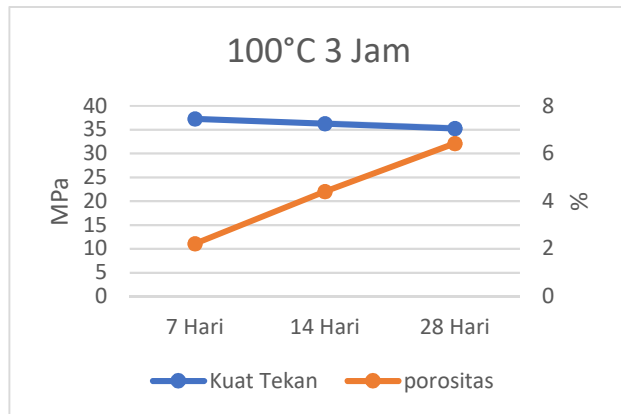


Gambar 18 pengaruh *heat curing* 100°C selama 6 jam terhadap kuat tekan dan porositas

Proses *heat curing* 100°C selama 6 jam yang mengacu pada Tabel 6 dan Gambar 18 dapat diketahui nilai kuat tekan yang sangat tinggi yakni 49,93 MPa dan nilai porositas yang didapat sebesar 3,41%, pengujian 14 hari nilai kuat tekan yang dapat diampu cukup tinggi yakni sebesar 40,73 MPa dan nilai porositas sebesar 3,84%, lalu pada saat pengujian 28 hari nilai kuat tekan yang diampu menurun menjadi 32,21 MPa dan porositas sebesar 8,3%.



Dari pernyataan diatas dapat disimpulkan nilai kuat tekan pada *heat curing* 100°C selama 6 jam menurun seiring bertambahnya usia namun porositas sebaliknya semakin bertambahnya usia benda uji semakin besar nilai porositasnya.



Gambar 19 pengaruh heat curing 100°C selama 3 jam terhadap kuat tekan dan porositas

Pada proses *heat curing* 100°C selama 3 jam yang mengacu pada Tabel 6 dan Gambar 19 uji kuat tekan 7 hari yang dapat diampu sebesar 37,28 MPa dan porositas sebesar 2,22%, lalu pada saat pengujian kuat tekan 14 hari nilai kuat tekan menurun menjadi 36,26 MPa dan porositas naik menjadi 4,41%, kemudian pada saat 28 hari pengujian nilai kuat tekan menurun menjadi 35,27 MPa sedangkan porositas yang didapat meningkat menjadi 6,42%. Dari pernyataan diatas dapat disimpulkan bahwa *heat curing* 100°C selama 3 jam nilai kuat tekan yang didapat menurun seiring bertambahnya usia namun porositas sebaliknya semakin bertambahnya usia benda uji semakin besar nilai porositasnya.

Dari penelitian ini maka dapat ditinjau dari penelitian sebelumnya (Wardhono, 2019) yang melakukan pengujian mortar geopolimer hasil kuat tekan tertinggi pada *heat curing* 60°C selama 24 Jam, namun berbeda dengan penelitian ini hasil kuat tekan tertinggi ada pada *heat curing* 100°C selama 6 jam hal ini dikarenakan fly ash yang digunakan pada penelitian ini berbeda dengan fly ash yang digunakan pada penelitian sebelumnya. Maka dapat disimpulkan dari hasil penelitian ini masih berada pada kisaran penelitian terdahulu yang artinya penelitian ini dapat dilanjutkan dan diharapkan mendapat hasil yang lebih baik lagi.

## PENUTUP

### Simpulan

Dari hasil penelitian penggunaan Fly Ash kelas C dengan (W/S) sebesar 0,35 dan (SS/SH 12 Molar) sebesar 1,5 dalam pembuatan mortar geopolimer dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Penelitian mortar geopolimer ini memiliki variasi *temperature* yang digunakan diantaranya yakni *room temperature*, 60°C, 80°C, dan 100°C. pada kondisi

*room temperature* mortar geopolimer mendapatkan nilai kuat tekan yang cukup tinggi bila dibandingkan dengan mortar yang menggunakan semen *Portland*, akan tetapi mortar geopolimer dengan *room temperature* memiliki nilai kuat tekan yang rendah apabila dibandingkan dengan mortar geopolimer dengan *heat curing* 100°C.

2. Durasi waktu dan tinggi rendahnya pada Proses *heat curing* sangat mempengaruhi nilai kuat tekan benda uji. Pada penelitian sebelumnya semakin lama dan semakin tinggi suhu maka semakin tinggi pula nilai kuat tekan benda uji, Akan tetapi pada penelitian ini berbeda seperti hasil kuat tekan yang tertera pada bab sebelumnya nilai kuat tekan tertinggi ada pada uji kuat tekan 7 hari dengan *heat curing* 100°C selama 6 Jam yakni sebesar 49,93 MPa. Hal ini dikarenakan *Fly Ash* yang digunakan pada penelitian ini berbeda bila dibandingkan dengan penelitian sebelumnya.

### Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, terdapat saran untuk penelitian lanjut maupun untuk produksi mortar geopolimer antara lain:

1. Saat proses pengadukan adonan mortar, harus dipastikan adonan mortar geopolimer telah tercampur secara homogen.
2. Saat pembuatan adonan mortar pastikan mengikuti standart yang ada seperti ASTM, SNI, dan lain-lain.
3. Saat pengujian kuat tekan, sebaiknya dilakukan dengan teliti, juga perlu diperhatikan alat uji UTM (*Universal Testing Machine*) telah dikalibrasi sehingga didapatkan data yang akurat.

### Ucapan Terima Kasih

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas rahmat serta karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini dengan baik. Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dan menyelesaikan penelitian dari awal pengerjaan hingga akhir, terutama kepada yang terhormat:

1. Bapak Ir. Arie Wardhono, S.T., M.MT., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing penelitian atas segala arahan, pikiran, dan waktu yang beliau berikan selama proses penelitian dan penyelesaian artikel ilmiah.
2. Drs. H. Soeparno, M.T. sebagai Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Negeri Surabaya.
3. Prof. Dr. Erina Rahmadyanti, ST., MT. Selaku Koordinator Program Studi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya
4. Kedua orang tua tercinta serta seluruh keluarga, yang telah banyak memberikan Do'a dan semangat kepada saya dalam menyelesaikan penelitian dan penulisan artikel ilmiah ini.
5. Teman-teman seperjuangan Jurusan Teknik Sipil yang telah memberikan inspirasi, motivasi, dan selalu support selama menempuh pendidikan di Universitas Negeri Surabaya serta bantuan dalam menyelesaikan penelitian dan penulisan artikel ilmiah.

## DAFTAR PUSTAKA

- ASTM C270-10. 2010. *Standard Specification for Mortar for Unit Masonry*. ASTM International, 100 Barr Harbour Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.
- ASTM C618-12. 2012. *Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete*. ASTM International, 100 Barr Harbour Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.
- ASTM Standards. 2002. ASTM 109/C 109M-2. *Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in or 50-mm Cube Specimens)*. ASTM International., West Conshohocken, PA.
- ASTM C579-01 *Standard Test Method for Compressive Strength of Chemical-Resistant Mortars, Grouts, Monolithic Surfacing, and Polymer Concretes*. ASTM International., West Conshohocken, PA
- Davidovits, J. 1994. *Geopolymer: Inorganic Polymeric New Materials*. Geopolymer Institute. France
- SNI 03-4428-1997 Tentang Metode Pengujian Agregat Halus. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 03-6825-2002. Tentang Metode Pengujian Kuat Tekan ortar Semen Portland untuk Pekerjaan Sipil. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 03-1974-1990. Tentang Metode Pengujian Kuat Tekan Beton. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 03-2460-1991. *Tentang Spesifikasi Abu Terbang untuk Beton*. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 15-2049-2004. Tentang Semen Portland. Badan Standarisasi Nasional
- Wardhono, A., 2019. Pengaruh Pemanasan Terhadap Kuat Tekan Mortar Geopolimer Berbahan Dasar Abu Terbang. Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
- SNI 03-6827-2002 Tentang Metode Pengujian Waktu Ikat Awal Semen Portland dengan Menggunakan Alat Vikat