

# ANALISIS PENGARUH VARIASI SUHU PERAWATAN TERHADAP MORTAR GEOPOLIMER BERBAHAN DASAR FLY ASH KELAS C DAN NAOH 10 MOLAR

**Rizky Hidayatullah Putra Hadi**

Mahasiswa Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya  
e-mail: [rizkyhph33@gmail.com](mailto:rizkyhph33@gmail.com)

**Arie Wardhono**

Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya  
e-mail: [ariewardhono@unesa.ac.id](mailto:ariewardhono@unesa.ac.id)

## Abstrak

Semen Portland merupakan bahan utama dalam beton yang sangat dibutuhkan dalam pembangunan konstruksi. Dalam proses produksinya menghasilkan gas emisikarbon dioksida gas tersebut dapat terlepas ke udara dan mengakibatkan pemanasan global yang menjadikan industri semen menjadi salah satu penyumbangan terbesar dalam sumber emisi polusi udara. Alternatif yang digunakan untuk pengganti semen yaitu abu terbang kelas C. Pada penelitian ini dilakukan suhu perawatan pada mortar geopolimer untuk mengetahui pengaruh suhu perawatan terhadap kuat tekan dan porositas mortar geopolimer berbahan dasar abu terbang kelas C dengan aktivator kombinasi antara sodium silikat dan sodium hidroksida 10 Molar. suhu perawatan dilakukan menggunakan oven dengan suhu 60°C, 80°C, 100°C dengan lama waktu 3 jam, 6 jam, dan 24 jam. hasil menunjukkan bahwa suhu perawatan mampu meningkatkan kuat tekan mortar geopolimer. kuat tekan tertinggi dihasilkan pada suhu perawatan dengan suhu 100°C selama 24 jam, kuat tekan yang diperoleh sebesar, 39,91 MPa usia 7 hari, 47,69 MPa usia 14 hari, dan 55,04 MPa usia 28 hari. dengan hasil porositas sebesar 3,5%, 2,66%, dan 2,27% pada usia 7, 14, dan 28 hari. suhu perawatan pada mortar geopolimer dengan aktivator kombinasi antara sodium silikat dan sodium hidroksida 10 Molar dapat meningkatkan kuat tekan, sedangkan hasil porositas menurun seiring meningkatnya kuat tekan.

**Kata Kunci: Mortar, abu terbang, geopolimer, suhu perawatan, kuat tekan, porositas**

## Abstract

Portland cement is the main material in concrete that is needed in construction. In the production process, carbon dioxide emissions gases can be released into the air and result in global warming which makes the cement industry one of the largest contributors in the source of air pollution emissions. Alternatives used for cement substitutes are C class fly ash. In this research, heat curing was carried out on geopolimer mortar to find out the effect of the heat curing on the compressive strength and porosity of the C class fly ash mortar with a combination of sodium silicate and sodium hydroxide 10 Molar. Heat curing is carried out using an oven with a temperature of 60 °C, 80 °C, and 100°C with a length of 3 hours, 6 hours, and 24 hours. Results showed that the heat curing was able to increase the compressive strength of the geopolimer mortar. The highest compressive strength is produced at the heat curing with a temperature of 100°C for 24 hours, compressive strength obtained by, 39.91 MPa age 7 days, 47.69 MPa aged 14 days, and 55.04 MPa age 28 days. with porosity results of 3.5%, 2.66%, and 2.27% at the age of 7, 14, and 28 days. while the porosity result decreases with the increase in compressive strength

**Keywords: Mortar, fly ash, geopolimer, heat curing, compressive strength, porosity**

## PENDAHULUAN

Semen Portland merupakan bahan utama dalam beton yang sangat dibutuhkan dalam pembangunan konstruksi. Dalam proses produksinya menghasilkan gas emisikarbon dioksida (CO<sub>2</sub>) gas tersebut dapat terlepas ke udara dan mengakibatkan pemanasan global yang menjadikan industri semen menjadi salah satu penyumbangan terbesar dalam sumber emisi polusi udara. Seiring dengan meningkatnya penggunaan semen, maka semakin juga meningkatnya pemanasan global yang dikibatkan oleh emisi gas karbondioksida yang

diakibatkan oleh kegiatan produksi semen. Para peneliti terus mengembangkan penelitian untuk bahan substitusi semen sebagai bahan utama dalam beton dengan menggunakan material geopolimer.

Geopolimer terbentuk dari sintesis dari senyawa sika oksida dan alumina yang tinggi, seperti *fly ash* (abu terbang). Pada dasarnya tidak bisa mengikat seperti halnya semen Portland. Penambahan air dan aktivator mengakibatkan reaksi ikatan geopolimer. Aktivator yang digunakan adalah Sodium Hidroksida (NaOH) 8M sampai 14M dan Sodium Silikat (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) dengan perbandingan antara 0.4 sampai 2.5 (Hardjito,2005).

Pada suhu dingin proses hidrasi sulit dicapai dan kekuatan awal mortar secara optimal sulit didapatkan. Maka diperlukan panas tambahan dalam perawatan mortar tersebut. Perawatan (*Curing*) mortar menggunakan oven, dengan cara memasukkan mortar ke dalam oven pada suhu dan waktu tertentu. Agar mortar tidak rusak maka pada saat dimasukkan oven mortar dibungkus terlebih dahulu dengan *plastic wrap* atau aluminium foil.

Dalam penelitian ini mortar geopolimer menggunakan Sodium Hidroksida (NaOH) 10M dengan variasi suhu perawatan 60°C, 80°C, dan 100°C serta waktu lama pemanasan 3 jam, 6 jam, dan 24 jam. Suhu perawatan (*heat curing*) geopolimer dengan suhu tinggi dapat mempercepat polimerisasi yang terjadi selama proses pengerasan mortar (Wardhono dkk, 2019). Hal tersebut menjadikan penelitian ini berfokus pada pembuatan dan pengujian mortar.

## 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, asir suling, Sodium Hidroksida (NaOH) 10 Molar, dan Sodium Hidroksida ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ )

### 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. Fly Ash

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

#### 2. 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.

### Pembuatan *Mix Design* Benda Uji

*Mix Design* benda uji dalam penelitian ini didasarkan dengan acuan ASTM C579-01 dengan modifikasi. Untuk itu, maka 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** *Mix Design* Mortar Geopolimer 10 Molar

Mix Design dengan kondisi SS/SH 10 Molar = 1,5 dan W/S = 0,35						
Mix	PC	Pasir	Fly Ash	Air	Sodium Silikat	NaOH 10 Molar
1	1	2,75	0	0,485	0	0
2	0	2,75	1	0,05	0,356	0,237
3	0	2,75	1	0,05	0,356	0,237
4	0	2,75	1	0,05	0,356	0,237
5	0	2,75	1	0,05	0,356	0,237
6	0	2,75	1	0,05	0,356	0,237
7	0	2,75	1	0,05	0,356	0,237
8	0	2,75	1	0,05	0,356	0,237
9	0	2,75	1	0,05	0,356	0,237
10	0	2,75	1	0,05	0,356	0,237
11	0	2,75	1	0,05	0,356	0,237

Sumber: Hasil Perhitungan

### Perawatan Benda Uji

Proses perawatan dilakukan menggunakan oven dengan suhu 60°C, 80°C, dan 100°C, dengan lama pemanasan tiap variasi suhu selama 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 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 Teknik Sipil Universitas Negeri Surabaya dengan merendam benda uji dalam air lalu menimbang berat benda uji tersebut, setelah itu

dikeringkan dengan oven lalu menimbang berat uji tersebut Kembali.

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:

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

### 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

Uji kuat tekan mortar geopolimer dilakukan pada usia 7, 14, dan 28 hari. Berikut hasil uji tekan dapat dilihat pada **Tabel 2**.

**Tabel 2** Hasil Uji Kuat Tekan Mortar

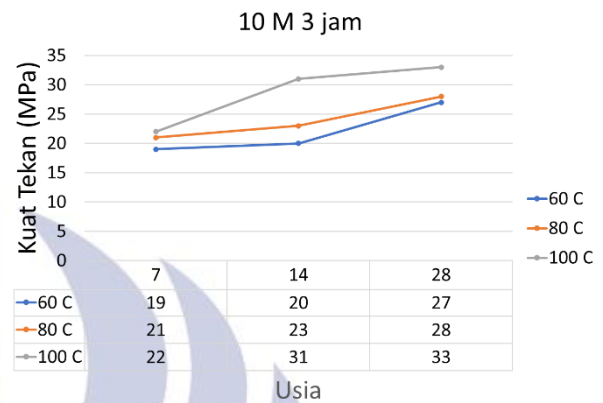
Mix	Keterangan	Kuat Tekan		
		MPa		
		7 Hari	14 Hari	28 Hari
1	Kontrol PC	9,90	10,72	14,77
2	Kontrol Geopolimer	17,89	32,31	32,88
3	10M 60C 3jam	19,41	20,70	27,02
4	10M 80C 3jam	21,90	23,12	28,80
5	10M 100C 3jam	22,49	31,05	33,52
6	10M 60C 6jam	23,91	24,88	29,49
7	10M 80C 6jam	27,95	29,44	32,31
8	10M 100C 6jam	32,20	38,48	39,23
9	10M 60C 24jam	30,28	32,31	34,38
10	10M 80C 24jam	32,11	33,17	35,74
11	10M 100C 24jam	39,91	47,69	55,04

Sumber: Data Primer

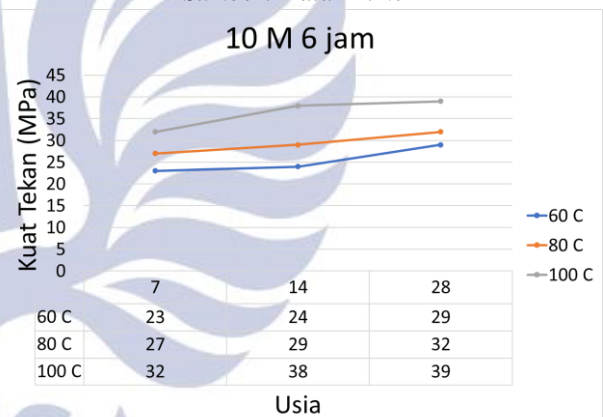
Berdasarkan **Tabel 2** menunjukkan bahwa Hasil kuat tekan usia 7, 14, dan 28 hari mengalami kenaikan secara konsisten pada setiap variasi suhu perawatannya.

Kontrol PC (semen Portland) memiliki kuat tekan terendah yaitu 9,90 MPa pada usia 7 hari, 10,72 MPa pada usia 14 hari, dan 14,77 MPa pada usia 28 hari, Adapun kontrol geopolimer dengan suhu ruangan memiliki kuat tekan 17,89 MPa pada usia 7 hari, 32,31 MPa pada usia 14 hari, dan 32,88 MPa pada usia 28 hari.

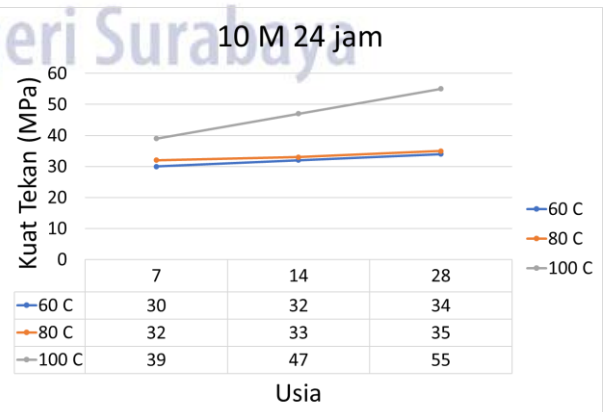
Hasil kuat tekan mortar geopolimer dapat dilihat lebih detail dalam grafik dibawah ini:



**Gambar 1** Grafik Uji Kuat Tekan Dengan Suhu Perawatan Selama 3 Jam  
Sumber: Data Primer



**Gambar 2** Grafik Uji Kuat Tekan Dengan Suhu Perawatan Selama 6 Jam  
Sumber: Data Primer



**Gambar 3** Grafik Uji Kuat Tekan Dengan Suhu Perawatan Selama 24 Jam  
Sumber: Data Primer



Kontrol PC (semen Portland) memiliki kuat tekan terendah yaitu 9,90 MPa, 10,72 MPa, dan 14,77 MPa, Adapun kontrol geopolimer dengan suhu ruangan memiliki kuat tekan 17,89 MPa, 32,31 MPa, dan 32,88 MPa. Mortar dengan suhu perawatan kuat tekan terendah dimiliki pada mortar dengan suhu perawatan 60° 3 jam yaitu sebesar 19,41 MPa, 20,70 MPa, dan 27,02 MPa, mortar dengan suhu perawatan mengalami kenaikan kuat tekan seiring bertambahnya suhu oven, kuat tekan tertinggi dicapai pada mortar dengan suhu perawatan 100°C 24 jam. Setiap perbedaan lama waktu perawatan mortar, suhu perawatan sebesar 100°C selalu memiliki kuat tekan yang lebih besar dari mortar dengan suhu perawatan 60°C dan 80°C pada lama waktu perawatan yang sama.

### Hasil Uji Porositas

Uji porositas mortar geopolimer dilakukan pada usia 7, 14, dan 28 hari. Berikut hasil uji tekan dapat dilihat pada

**Tabel 3** dibawah ini.

**Tabel 3** Hasil Uji Porositas Mortar

Mix	Keterangan	Porositas		
		%		
		7 Hari	14 Hari	28 Hari
1	Kontrol PC	12,42	11,76	11,38
2	Kontrol Geopolimer	6,86	4,20	3,44
3	10M 60C 3jam	5,74	5,17	4,34
4	10M 80C 3jam	5,28	4,77	4,05
5	10M 100C 3jam	4,72	3,67	3,45
6	10M 60C 6jam	4,51	4,18	3,77
7	10M 80C 6jam	4,06	3,72	3,45
8	10M 100C 6jam	3,74	3,28	2,57
9	10M 60C 24jam	4,12	3,83	3,41
10	10M 80C 24jam	3,79	3,70	3,32
11	10M 100C 24jam	3,50	2,66	2,27

Sumber: Data Primer

Berdasarkan

**Tabel 3** menunjukkan bahwa hasil porositas 7, 14, dan 28 hari mengalami penurunan pada setiap *mix design*. Kontrol PC memiliki porositas terbesar sebesar yaitu 12,42% pada usia 7 hari, 11,76% pada usia 14 hari, dan 11,38% pada usia 28 hari. Hasil uji porositas terbesar pada *mix design* 11 mortar geopolimer dengan suhu perawatan 100°C-24 jam yaitu sebesar 3,50% pada usia 7 hari, 2,66% pada usia 14 hari, dan 2,27% pada usia 28 hari.

### Hasil Uji Vikat

Penelitian ini melakukan uji setting time atau uji vikat terhadap 2 tipe pasta yaitu pasta geopolimer dan pasta semen Portland.

Berikut hasil yang didapatkan dari uji vikat pasta geopolimer untuk waktu pengikatan awal dan pengikatan akhir yang selengkapnya akan disajikan pada **Tabel 4**.

**Tabel 4** Hasil Uji Vikat Pasta Geopolimer

Waktu	Penurunan Jarum
Menit	mm
0	40
15	40
30	40
45	40
60	40
75	40
90	40
105	40
120	40
135	37
150	24
165	18
180	13
195	10
210	7
225	6
240	3
255	1
270	0,5
285	0
300	0
315	0

Sumber: Data Primer

Pada **Tabel 4** diatas pasta geopolimer memperlihatkan waktu ikat awal (*initial setting time*) lebih dari 60 menit yaitu 135 menit dan waktu ikat akhir (*final setting time*) kurang dari 480 menit yaitu 285 menit.

Dari hasil uji vikat tersebut pasta semen geopolimer sesuai dengan pasta semen beton konvensional dengan lamanya waktu ikat awal (*initial setting time*) menunjukkan 135 menit > 60 menit seperti yang disyaratkan dan waktu ikat akhir (*final setting time*) menunjukkan waktu 285 menit < 480 menit, hal itu menunjukkan bahwa hasil tersebut tidak beda jauh dengan teori yaitu waktu ikat awal (*initial setting time*) minimal 60 menit dan waktu ikat akhir (*final setting time*) maksimal 480 menit.

Adapun hasil yang didapatkan dari uji vikat pasta geopolimer untuk waktu pengikatan awal dan pengikatan akhir yang selengkapnya akan disajikan pada **Tabel 5**:

**Tabel 5** Hasil Uji Vikat Pasta Semen Portland

Waktu Menit	Penurunan Jarum mm
0	40
15	40
30	40
45	40
60	40
75	40
90	40
105	40
120	40
135	40
150	40
165	35
180	31
195	21
210	21
225	18
240	15
255	11
270	7
285	5
300	4
315	3
330	2
345	2
360	1
375	1
390	0
405	0
420	0

Sumber: Data Primer

Pada **Tabel 5** diatas pasta semen Portland memperlihatkan waktu ikat awal (*initial setting time*) yaitu 165 menit dan waktu ikat akhir (*final setting time*) yaitu 390 menit.

Dari hasil uji vikat tersebut pasta semen Portland sesuai dengan pasta semen beton konvensional dengan lamanya waktu ikat awal (*initial setting time*) menunjukkan 165 menit > 60 menit seperti yang disyaratkan dan waktu ikat akhir (*final setting time*) menunjukkan waktu 390 menit < 480 menit, hal itu menunjukkan bahwa hasil tersebut tidak beda jauh dengan teori yaitu waktu ikat awal (*initial setting time*) minimal 60 menit dan waktu ikat akhir (*final setting time*) maksimal 480 menit.

### Pembahasan

Hasil yang didapat dari pengujian kuat tekan, porositas, dan vikat setelah itu dilakukan analisis kuat tekan mortar geopolimer sesuai usia optimal mortar yaitu pada saat benda uji mortar berusia 28 hari.

Dimana kuat tekan merupakan besarnya beban maksimum yang diberikan persatuan luas, yang menyebabkan benda uji hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu. Karena pada penelitian ini difokuskan pada hasil kuat tekan benda uji, maka dilakukan Analisa kuat tekan terhadap porositas, dan juga dilakukan perbandingan uji vikat antara mortar geopolimer dengan semen Portland.

### Analisa Hubungan Kuat Tekan dan Porositas

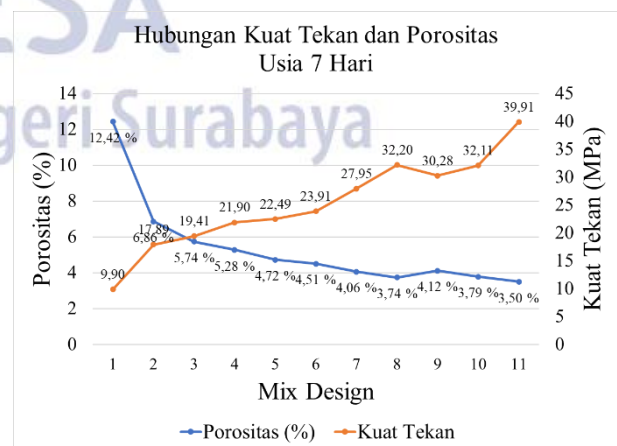
Dalam Penelitian ini dilakukan pengujian porositas dan kuat tekan terhadap 11 *mix design*, 2 diantaranya adalah *mix design* kontrol semen dan mortar geopolimer. 9 lainnya merupakan *mix design* dengan 9 variasi suhu perawatan, mulai dari 60°C, 80°C, dan 100°C serta waktu *curing* selama 3 jam, 6 jam, dan 24 jam.

Hubungan antara kuat tekan dan porositas pada benda uji dapat dilihat pada Tabel dan Grafik dibawah:

**Tabel 6** Hubungan Kuat Tekan dan Porositas Usia 7 Hari

Mix	Keterangan	Kuat Tekan	Porositas
		MPa	%
1	Kontrol PC	9,90	12,42
2	Kontrol Geopolimer	17,89	6,86
3	10M 60C 3jam	19,41	5,74
4	10M 80C 3jam	21,90	5,28
5	10M 100C 3jam	22,49	4,72
6	10M 60C 6jam	23,91	4,51
7	10M 80C 6jam	27,95	4,06
8	10M 100C 6jam	32,20	3,74
9	10M 60C 24jam	30,28	4,12
10	10M 80C 24jam	32,11	3,79
11	10M 100C 24jam	39,91	3,50

Sumber: Data Primer



**Gambar 4** Grafik Hubungan Kuat Tekan dan Porositas Usia 7 hari

Sumber: Data Primer

**Tabel 7 Hubungan Kuat Tekan dan Porositas Usia 14 Hari**

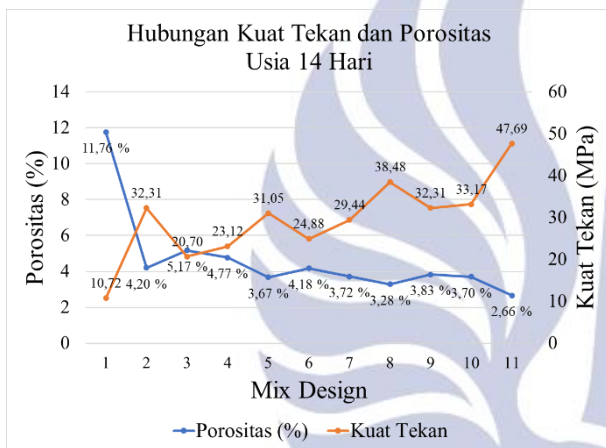
Mix	Keterangan	Kuat Tekan	Porositas
		MPa	%
1	Kontrol PC	10,72	11,76
2	Kontrol Geopolimer	32,31	4,20
3	10M 60C 3jam	20,70	5,17
4	10M 80C 3jam	23,12	4,77
5	10M 100C 3jam	31,05	3,67
6	10M 60C 6jam	24,88	4,18
7	10M 80C 6jam	29,44	3,72
8	10M 100C 6jam	38,48	3,28
9	10M 60C 24jam	32,31	3,83
10	10M 80C 24jam	33,17	3,70
11	10M 100C 24jam	47,69	2,66

Sumber: Data Primer

**Tabel 8 Hubungan Kuat Tekan dan Porositas Usia 28 Hari**

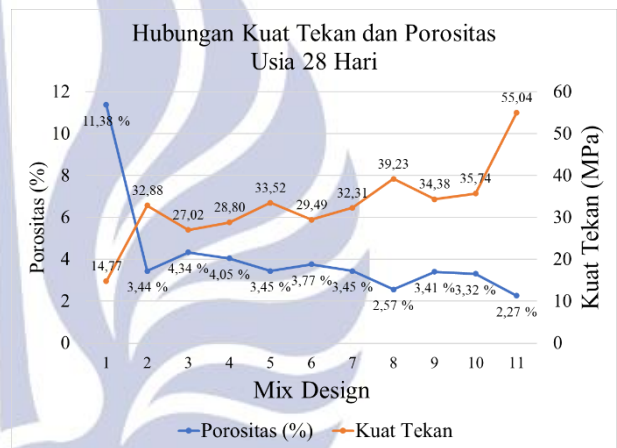
Mix	Keterangan	Kuat Tekan	Porositas
		MPa	%
1	Kontrol PC	14,77	11,38
2	Kontrol Geopolimer	32,88	3,44
3	10M 60C 3jam	27,02	4,34
4	10M 80C 3jam	28,80	4,05
5	10M 100C 3jam	33,52	3,45
6	10M 60C 6jam	29,49	3,77
7	10M 80C 6jam	32,31	3,45
8	10M 100C 6jam	39,23	2,57
9	10M 60C 24jam	34,38	3,41
10	10M 80C 24jam	35,74	3,32
11	10M 100C 24jam	55,04	2,27

Sumber: Data Primer



**Gambar 5 Grafik Hubungan Kuat Tekan dan Porositas Usia 14 Hari**

Sumber: Data Primer



**Gambar 6 Grafik Hubungan Kuat Tekan dan Porositas Usia 28 Hari**

Sumber: Data Primer

**Tabel 9 Hasil Uji Tekan dan Porositas Keseluruhan**

Mix	Keterangan	Kuat Tekan			Porositas		
		MPa			%		
		7 hari	14 hari	28 hari	7 hari	14 hari	28 hari
1	Kontrol PC	9,90	10,72	14,77	12,42	11,76	11,38
2	Kontrol Geopolimer	17,89	32,31	32,88	6,86	4,20	3,44
3	10M 60C 3jam	19,41	20,70	27,02	5,74	5,17	4,34
4	10M 80C 3jam	21,90	23,12	28,80	5,28	4,77	4,05
5	10M 100C 3jam	22,49	31,05	33,52	4,72	3,67	3,45
6	10M 60C 6jam	23,91	24,88	29,49	4,51	4,18	3,77
7	10M 80C 6jam	27,95	29,44	32,31	4,06	3,72	3,45
8	10M 100C 6jam	32,20	38,48	39,23	3,74	3,28	2,57
9	10M 60C 24jam	30,28	32,31	34,38	4,12	3,83	3,41
10	10M 80C 24jam	32,11	33,17	35,74	3,79	3,70	3,32
11	10M 100C 24jam	39,91	47,69	55,04	3,50	2,66	2,27

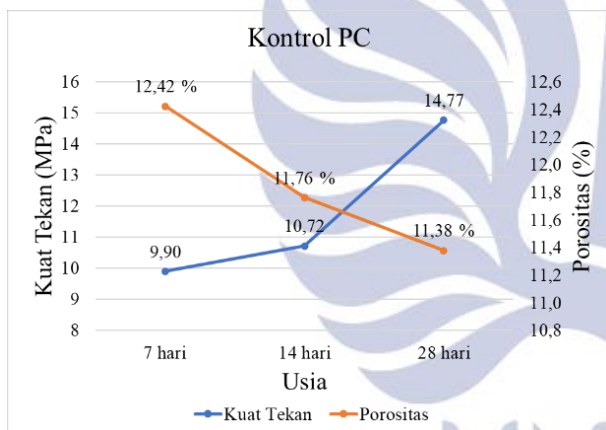
Sumber Data Primer

Berdasarkan hasil uji kuat tekan dan porositas yang disajikan pada **Tabel 9** Hasil Uji Tekan dan Porositas Keseluruhan, didapat hasil nilai kuat tekan optimum usia 28 hari pada mix design 11 dengan suhu perawatan 100°C-24 jam sebesar 55,04 MPa. Sedangkan hasil kuat tekan minimum didapatkan pada mix 1 yang merupakan mortar kontrol semen Portland dengan hasil kuat tekan sebesar 14,77 MPa. Untuk porositas terbesar didapatkan pada mix 1 dengan nilai sebesar 7,85%. Sedangkan porositas terkecil, didapatkan pada mix 11 yaitu sebesar 2,27%.

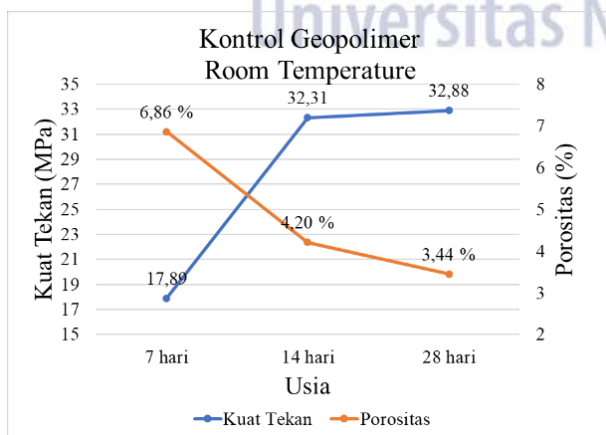
Berdasarkan **Tabel 9** Suhu perawatan dengan variasi suhu dan waktu dapat mempengaruhi kuat tekan dan porositas mortar geopolimer. Dari data tersebut, maka bisa dibandingkan hasil kuat tekan dan porositas dengan Analisa menurut suhu perawatan dengan variasi suhu dan waktu sebagai berikut:

**Suhu Ruang (Room Temperature)**

Pada mortar kontrol dibiarkan pada suhu ruangan normal dan berjumlah 2 mix design yaitu dengan bahan Portland semen dan geopolimer. Berikut hubungan kuat tekan dan porositas yang didapat:



**Gambar 7** Grafik Pengaruh Hubungan Kuat Tekan dan Porositas Semen Portland  
Sumber: Data Primer



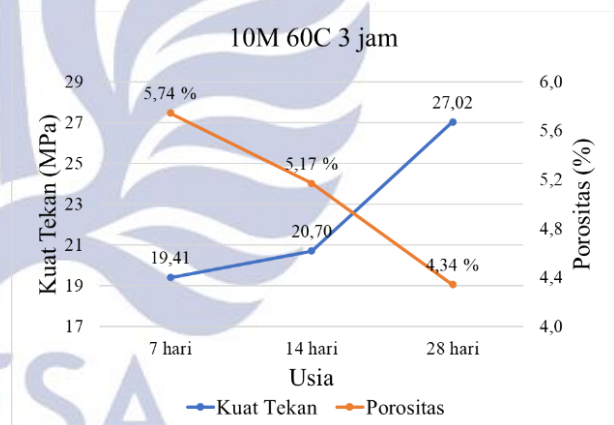
**Gambar 8** Grafik Pengaruh Hubungan Kuat Tekan dan Porositas Geopolimer  
Sumber Data Primer

**Gambar 7** dan **Gambar 8** memaparkan kenaikan nilai kuat tekan dari usia 7, 14, dan 28 hari. Namun pada mortar semen portland nilai kuat tekan relatif rendah dengan nilai kuat tekan 9,90 MPa pada usia 7 hari, 0,72 MPa pada usia 14 hari, dan 14,77 MPa pada usia 28 hari dibanding mortar geopolimer dengan kondisi perawatan suhu ruangan dengan nilai 17,88 MPa pada usia 7 hari, 32,31 MPa pada usia 14 hari, dan 32,88 MPa pada usia 28 hari.

Hasil uji porositas berbanding terbalik dari nilai kuat tekan, saat grafik kuat tekan mengalami kenaikan, sedangkan grafik porositas akan mengalami penurunan nilai porositas begitu juga sebaliknya. Hasil porositas mortar PC adalah 12,42% pada usia 7 hari, 11,76% pada usia 14 hari, dan 11,38% pada usia 28 hari. Sedangkan nilai porositas Mortar geopolimer adalah 6,68% pada usia 7 hari, 4,20% pada usia 14 hari, dan 3,44% pada usia 28 hari.

**Suhu Perawatan 60°C**

Pada proses suhu perawatan 60°C dilakukan dengan waktu perawatan yang berbeda yaitu 3, 6, dan 24 jam sebagai perbandingan hasil, berikut akan disajikan hasil grafik hubungan kuat tekan dan porositas tiap waktu perawatannya:

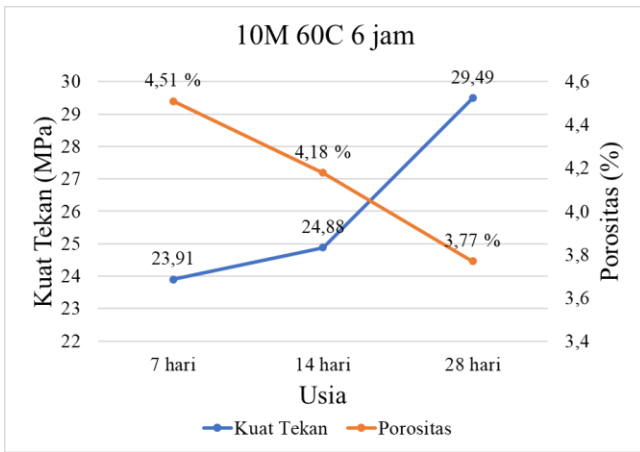


**Gambar 9** Grafik Hubungan Pengaruh Suhu Perawatan 60°C 3jam Terhadap Kuat Tekan dan Porositas Mortar  
Sumber: Data Primer

Dari grafik diatas dapat diketahui bahwa rata-rata kuat tekan benda uji geopolimer yang dirawat dengan suhu 60°C 3 jam dengan waktu perawatan 3, 6, dan 24 jam memiliki pola yang hampir sama dengan suhu normal.

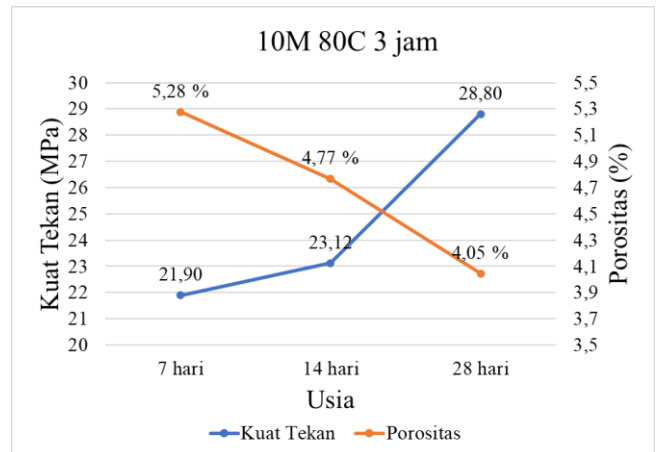
Pada **Gambar 9** suhu perawatan 60°C selama 3 jam pada saat usia 7 hari nilai kuat tekan sebesar 19,41 MPa. Mengalami kenaikan dari usia 7 hari ke usia 14 hari sebesar 20,7 MPa. Mengalami kenaikan pada usia 14 hari ke usia 28 hari sebesar 27,02 MPa. Dapat diketahui nilai porositas saat usia 7, 14, dan 28 hari adalah 5,74%, 5,17% dan 4,34% yang berbanding terbalik dari grafik nilai kuat tekan.





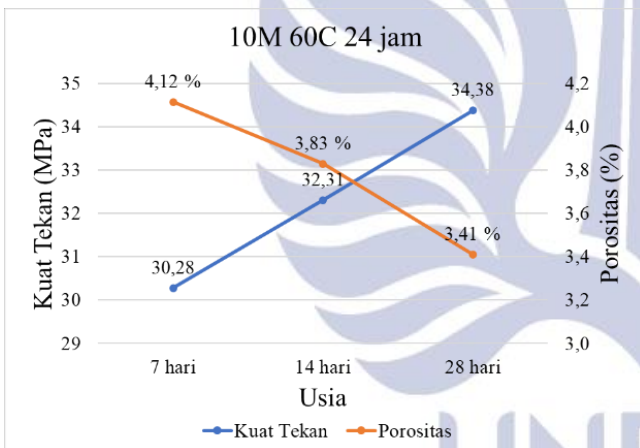
**Gambar 10** Grafik Hubungan Pengaruh Suhu Perawatan 60°C 6 jam Terhadap Kuat Tekan dan Porositas Mortar  
*Sumber: Data Primer*

Dari Grafik Hasil kuat tekan dan porositas diatas pada suhu perawatan 60°C 6 jam yaitu sebesar 23,91 MPa pada usia 7 hari, 24,88 MPa pada usia 14 hari, dan 29,49 MPa pada usia 28 hari. Dengan nilai porositas sebesar 4,51% pada usia 7 hari, 4,18% pada usia 14 hari, dan 3,77% pada usia 28 hari.



**Gambar 12** Grafik Pengaruh Suhu Perawatan 80°C 3 jam Terhadap Kuat Tekan dan Porositas Mortar  
*Sumber: Data Primer*

Dari Grafik Hasil kuat tekan dan porositas diatas pada suhu perawatan 80°C 3 jam yaitu sebesar 21,90 MPa pada usia 7 hari, 23,12 MPa pada usia 14 hari, dan 28,80 MPa pada usia 28 hari. Dengan nilai porositas sebesar 5,28%, 4,77%, dan 4,05%, hasil ini menunjukkan kuat tekan mortar dengan suhu perawatan 80°C lebih besar dari mortar dengan suhu perawatan 60°C pada waktu perawatan 3 jam.

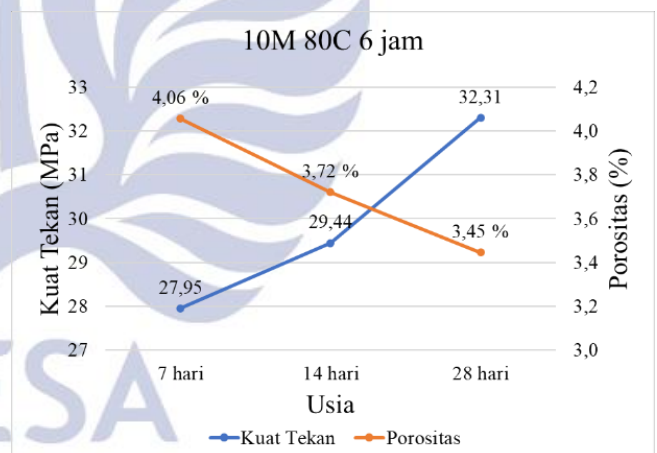


**Gambar 11** Grafik Hubungan Pengaruh Suhu Perawatan 60°C 24 jam Terhadap Kuat Tekan dan Porositas Mortar  
*Sumber: Data Primer*

Hasil kuat tekan dan porositas pada suhu perawatan 60°C 6 jam dapat dilihat pada **Gambar 11** yaitu sebesar 30,28 MPa pada usia 7 hari, 32,31 MPa pada usia 14 hari, dan 34,38 MPa pada usia 28 hari. Dengan nilai porositas sebesar 4,12% pada usia 7 hari, 3,83% pada usia 14 hari, dan 3,41% pada usia 28 hari

#### Suhu Perawatan 80°C

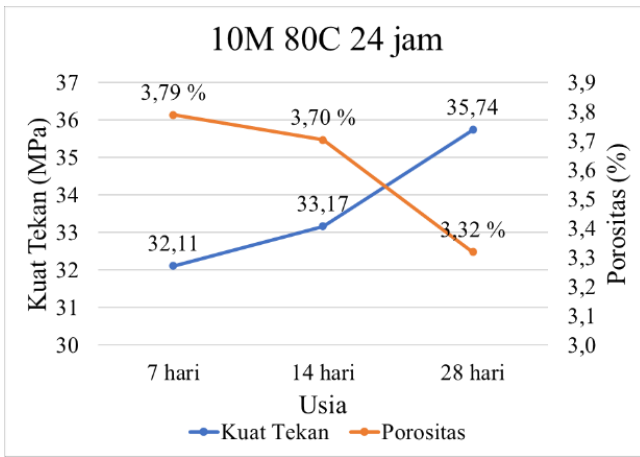
Pada proses suhu perawatan 80°C dilakukan dengan waktu perawatan yang berbeda yaitu 3, 6, dan 24 jam sebagai perbandingan hasil, berikut akan disajikan hasil grafik hubungan kuat tekan dan porositas tiap waktu perawatannya:



**Gambar 13** Grafik Pengaruh Suhu Perawatan 80°C 6 jam Terhadap Kuat Tekan dan Porositas Mortar  
*Sumber: Data Primer*

Dari Grafik Hasil kuat tekan dan porositas diatas hasil kuat tekan dan porositas pada suhu perawatan 80°C 6 jam yaitu sebesar 27,95 MPa pada usia 7 hari, 29,44 MPa pada usia 14 hari, dan 32,31 MPa pada usia 28 hari. Dengan nilai porositas sebesar 4,06% pada usia 7 hari, 3,72% pada usia 14 hari, dan 3,42% pada usia 28 hari.



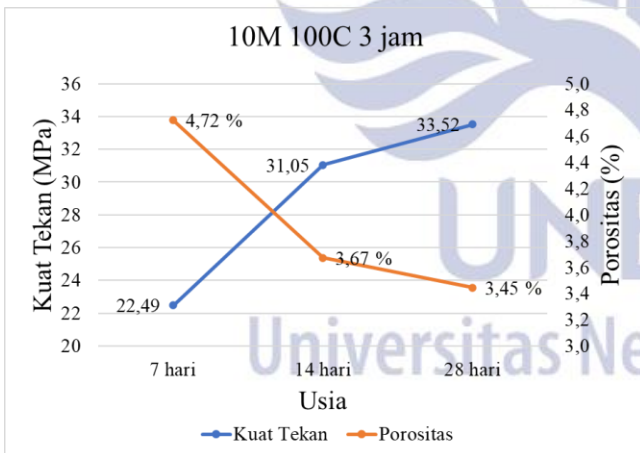


**Gambar 14** Grafik Pengaruh Suhu Perawatan 80°C 24 jam Terhadap Kuat Tekan dan Porositas Mortar  
*Sumber: Data Primer*

Hasil kuat tekan dan porositas pada suhu perawatan 80°C 24 jam dapat dilihat pada **Gambar 9** yaitu sebesar 32,11 MPa pada usia 7 hari, 33,17 MPa pada usia 14 hari, dan 35,74 MPa pada usia 28 hari. Dengan nilai porositas sebesar 3,79% pada usia 7 hari, 3,70% pada usia 14 hari, dan 3,32% pada usia 28 hari

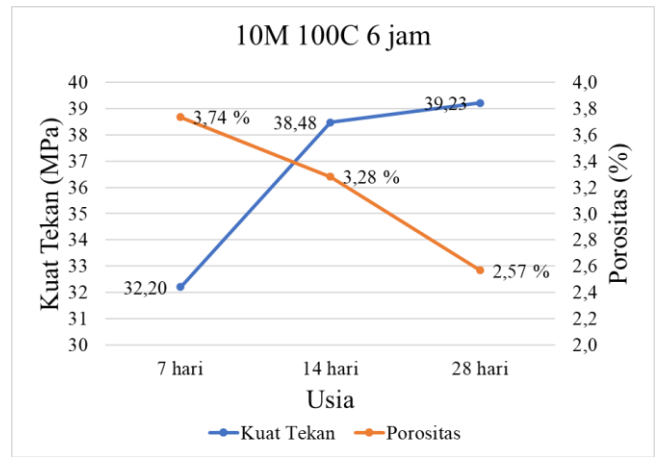
#### Suhu Perawatan 100°C

Pada proses suhu perawatan 100°C dilakukan dengan waktu perawatan yang berbeda yaitu 3, 6, dan 24 jam sebagai perbandingan hasil, berikut akan disajikan hasil grafik hubungan kuat tekan dan porositas tiap waktu perawatannya:



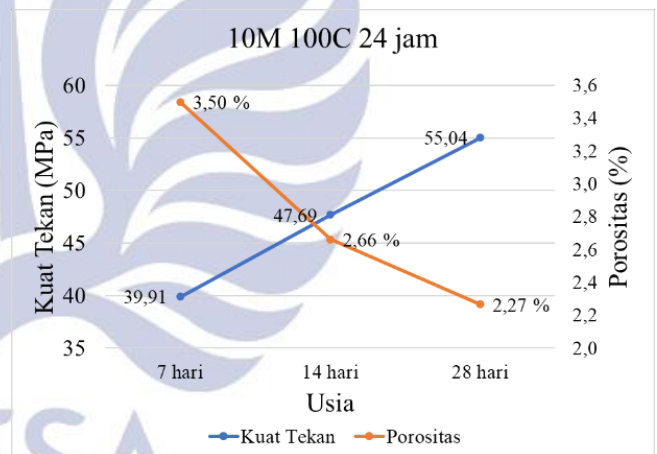
**Gambar 15** Grafik Pengaruh Suhu Perawatan 100°C 3 jam Terhadap Kuat Tekan dan Porositas Mortar  
*Sumber: Data Primer*

Dari Grafik Hasil kuat tekan dan porositas diatas pada suhu perawatan 100°C 3 jam yaitu sebesar 22,49 MPa pada usia 7 hari, 31,05 MPa pada usia 14 hari, dan 33,52 MPa pada usia 28 hari. Dengan nilai porositas sebesar 4,72% pada usia 7 hari, 3,67% pada usia 14 hari, dan 3,45% pada usia 28 hari.



**Gambar 16** Grafik Pengaruh Suhu Perawatan 100°C 6 jam Terhadap Kuat Tekan dan Porositas Mortar  
*Sumber: Data Primer*

Dari Grafik Hasil kuat tekan dan porositas diatas pada suhu perawatan 100°C 6 jam yaitu sebesar 32,20 MPa pada usia 7 hari, 38,48 MPa pada usia 14 hari, dan 39,23 MPa pada usia 28 hari. Dengan nilai porositas sebesar 3,74% pada usia 7 hari, 3,28% pada usia 14 hari, dan 2,57% pada usia 28 hari.



**Gambar 17** Grafik Pengaruh Suhu Perawatan 100°C 24 jam Terhadap Kuat Tekan dan Porositas Mortar  
*Sumber: Data Primer*

Dari Grafik Hasil kuat tekan dan porositas diatas pada suhu perawatan 100°C 24 jam yaitu sebesar 39,91 MPa pada usia 7 hari, 47,69 MPa pada usia 14 hari, dan 55,04 MPa pada usia 28 hari. Dengan nilai sebesar 3,50% pada usia 7 hari, 2,66% pada usia 14 hari, dan 2,27% pada usia 28 hari

Dari hasil keseluruhan menunjukkan bahwa suhu perawatan 100°C 24 jam memiliki kuat tekan yang tertinggi sebesar 55,04 MPa pada saat usia 28 hari. Dengan peningkatan kuat tekan dari usia 7, 14 dan 28 hari secara signifikan.

Dilihat dari penelitian sebelumnya (Wardhono,2019) yang melakukan pengujian mortar geopolimer dengan suhu perawatan 60°C menghasilkan kuat tekan tertinggi

pada waktu oven selama 24 jam, seperti hasil yang telah dipaparkan diatas bahwa tiap suhu perawatan dari 60°C, 80°C, dan 100°C menghasilkan kuat tekan tertinggi pada lama waktu oven selama 24 jam.

Adapun penelitian lain (Horianto dkk,2013) yang melakukan pengujian mortar dengan suhu perawatan 80°C, 100°C, dan 120°C selama 6 jam, 12 jam, dan 24 jam. Menghasilkan kuat tertingi pada lama perawatan 24 jam dan mengalami kenaikan kuat tekan setiap kenaikan suhu.

Dengan hasil yang didapatkan dari 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* dengan (W/S) sebesar 0,35 dan (SS/SH 10 Molar) sebesar 1,5 dalam pembuatan mortar geopolimer dengan suhu perawatan 60°C, 80°C, dan 100°C dengan lama perawatan selama 3 jam, 6 jam, dan 24 jam dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Proses suhu perawatan mortar geopolimer menggunakan oven dapat mempengaruhi nilai kuat tekan pada mortar geopolimer. Namun pada suhu perawatan 60°C 3 jam, 80°C 3 jam, 60°C 6 jam, dan 80°C 6 jam nilai kuat tekannya masih sedikit dibawah dari mortar geopolimer dengan temperatur ruangan.
2. Proses suhu perawatan mortar geopolimer menggunakan oven dapat mempengaruhi nilai porositas pada mortar geopolimer. Semakin besar suhu perawatannya semakin kecil nilai porositasnya.
3. Proses suhu perawatan mortar geopolimer menggunakan oven mendapatkan nilai kuat tekan optimum pada suhu 100°C dan lama waktu perawatan selama 24 jam dengan nilai kuat tekan sebesar 55,04 MPa.

### Saran

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

1. Saat pembuatan cairan aktivator alkali harap berhati-hati, karena cairan tersebut dapat menimbulkan panas, dan gatal saat terkena kulit.
2. Proses pengadukan atau pencampuran bahan penyusun mortar harus dipastikan agar tercampur secara homogen.
3. Saat pembacaan data kuat tekan, sebaiknya dilakukan dengan teliti, juga perlu diperhatikan alat uji UTM (*Universal Testing Machine*) telah ikalibrasi sehingga dapat menampilkan data yang lebih akurat.

## DAFTAR PUSTAKA

- ASTM C579-01, 2012. *Standarf Test Methods for Compressive Strength of Cemical-Resistant Mortars, Grouts, Monolithic Srfacings, and Polymer Concretes*. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM Standarts. 2002. ASTM 109/C 109M-2. *Standart Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in or 50-mm Cube Specimens)*. ASTM International., West Conshohocken, PA.
- Hardjito, 2005. *Studies on Fly Ash-Based Geopolymer Concrete*. Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Curtin University of Technology
- Horianto, dkk, 2013. *Pengaruh dan Durasi Perawatan Terhadap Kuat Tekan Mortar Geopolimer Berbahan Dasar Abu Terbang*. Universitas Tadulako.
- Khoiriyah, dkk, 2016. *Karakteristik Mortar Geopolimer Dengan Perawatan Oven Pada Berbagai Variasi Waktu Curing*. Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Jakarta.
- SNI S-04-1989-F. *Tentang Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A*. 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 03-6820-2002. *Tentang Spesifikasi Agregat Halus untuk Pekerjaan Adukan dan Plesteran dengan Bahan Semen*. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 03-6825-2002. *Tentang Metode Pengujian Kuat Tekan Mortar Semen Portland untuk Pekerjaan Sipil*. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 03-6827-2002. *Metode pengujian waktu ikat awal semen portlanddengan menggunakan alat vicat untuk pekerjaan sipil*. 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 Kelas C*. Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya.