

PENGARUH RASIO W/S TERHADAP MORTAR GEOPOLIMER BERBAHAN DASAR FLY ASH MENGUNAKAN NAOH 10 MOLAR PADA KONDISI ASAM DENGAN PH ANTARA 2,5-3,0

Favian Fairuz Xavier

Mahasiswa Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
e-mail: favianfairuz29@gmail.com

Arie Wardhono

Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
e-mail: ariewardhono@unesa.ac.id

Abstrak

Pembangunan pada era sekarang mengalami perkembangan yang sangat pesat sehingga berdampak pada kebutuhan material bangunan salah satunya yaitu *portland cement* (PC). Dalam produksi pembuatan *portland cement* (PC) memberikan dampak negatif bagi lingkungan dengan adanya pelepasan gas karbon dioksida (CO_2) yang dapat menyebabkan pemanasan global dan pencemaran udara. Maka perlu adanya inovasi baru dengan mengganti *portland cement* (PC) sebagai bahan utama beton dengan bahan *geopolymer*. Salah satu bahan *geopolymer* yaitu abu terbang yang berasal dari limbah pembakaran batu bara. Pada penelitian ini menggunakan abu terbang kelas F dan larutan aktivator berupa sodium hidroksida (NaOH) 10 Molar. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh perawatan pada benda uji terhadap kuat tekan, porositas dan berat benda uji. Perawatan yang dilakukan pada benda uji yaitu dibiarkan pada kondisi suhu ruang (normal), *heat curing* (*oven*), dan direndam pada larutan asam dengan pH 2,5-3,0. Hasil penelitian yang diperoleh yaitu bahwa perawatan benda uji dengan cara *heat curing* (*oven*) dengan suhu 100°C selama 24 jam memiliki hasil kuat tekan paling baik dimana hasil tertinggi diperoleh pada variasi W/S 0,55 usia 28 hari sebesar 31,94 MPa dengan porositas sebesar 14,13%. Sedangkan pada kondisi suhu ruang (normal) memiliki kuat tekan tertinggi pada variasi W/S 0,50 usia 28 hari sebesar 24,21 MPa dengan porositas sebesar 15,76%. Sementara hasil kuat tekan dan porositas pada benda uji setelah direndam pada larutan asam memiliki kuat tekan tertinggi pada variasi W/S 0,55 dengan nilai 12,19 MPa dan porositas sebesar 19,99% pada benda uji kondisi suhu ruang (normal). Pada benda uji kondisi *heat curing* (*oven*) setelah direndam pada larutan asam hasil tertinggi diperoleh pada variasi W/S 0,55 dengan nilai kuat tekan 20,72 MPa dan porositas sebesar 19,63%.

Kata Kunci : Abu terbang, geopolymer, perawatan benda uji, kuat tekan, porositas

Abstract

Development in the current era is experiencing a very rapid development so that it has an impact on the needs of building materials, one of which is portland cement (PC). In the production of portland cement (PC) making, it has a negative impact on the environment with the release of carbon dioxide (CO_2) gas which can cause global warming and air pollution. So there is a need for new innovations by replacing portland cement (PC) as the main material for concrete with geopolymer material. One of the geopolymer materials is fly ash which comes from coal incineration waste. In this study, it used class F fly ash and an activator solution in the form of sodium hydroxide (NaOH) 10 Molars. This study was conducted to determine the effect of treatment on the test object on the compressive strength, porosity and weight of the test object. The treatment carried out on the test object is left at room temperature conditions (normal), heat curing (oven), and soaked in an acidic solution with a pH of 2.5-3.0. The results of the study obtained were that the treatment of test objects by means of heat curing (oven) with a temperature of 100°C for 24 hours had the best compressive results where the highest results were obtained at variations of W/S 0.55 aged 28 days by 31.94 MPa with porosity of 14.13%, while at room temperature conditions (normal) had the highest compressive strength at variations W/S 0.50 age 28 days by 24.21 MPa with porosity of 15.76%. Meanwhile, the results of compressive strength and porosity in the test object after immersion in an acid solution have the highest compressive strength at a variation of W/S 0.55 with a value of 12.19 MPa and porosity of 19.99% in the test object of room temperature conditions (normal). In the test object, the heat curing condition (oven) after soaking in an acid solution, the highest yield was obtained at a variation of W/S 0.55 with a pressure strength of 20.72 MPa and porosity of 19.63%.

Keywords: Fly ash, geopolymer, test object treatment, compressive strength, porosity

PENDAHULUAN

Pembangunan pada era sekarang mengalami perkembangan yang sangat pesat sehingga berdampak pada kebutuhan material bangunan salah satunya yaitu *portland cement* (PC). Dalam produksi pembuatan *portland cement* (PC) memberikan dampak negatif bagi lingkungan dengan adanya pelepasan gas karbon dioksida (CO₂) yang dapat menyebabkan pemanasan global dan pencemaran udara. Maka dari itu perlu adanya inovasi baru guna meminimalisir terjadinya pemanasan global dan pencemaran udara akibat produksi *portland cement* (PC). Para ilmuwan telah mencoba untuk terus melakukan penelitian menggunakan bahan utama dengan material *geopolymer* sebagai bahan substitusi pengganti *portland cement* (PC) yang memberikan dampak buruk bagi lingkungan.

Geopolymer merupakan bahan anorganik yang terdiri dari *silicat* (Si) dan *aluminium* (Al) sebagai material utama dimana terdapat pada bahan abu terbang (*fly ash*) sebagai bahan substitusi pembuatan beton atau mortar *geopolymer* (Davidovits, 2008). Abu terbang (*fly ash*) digunakan sebagai bahan substitusi pengganti *portland cement* (PC) guna pemanfaatan limbah yang berasal dari pembakaran batu bara yang memiliki kandungan *silica* (SiO₂) tinggi yang sangat berbahaya jika dibuang secara terbuka. Abu terbang (*fly ash*) tidak memiliki kemampuan mengikat seperti *portland cement* (PC) sehingga membutuhkan bahan tambah berupa aktivator yang terdiri dari natrium hidroksida (NaOH) dan natrium silikat (Na₂SiO₃) sebagai bahan pengikat.

Pada penelitian mortar *geopolymer* ini menggunakan aktivator natrium hidroksida (NaOH) sebesar 10 Molar dengan beberapa jenis perawatan yaitu kondisi suhu ruang (normal), *heat curing* (*oven*) dengan suhu 100°C selama 24 jam, dan direndam pada larutan asam dengan pH 2,5-3,0. *Heat curing* dilakukan untuk mempercepat proses pengerasan pada mortar *geopolymer*, sedangkan perendaman larutan asam berguna untuk mengetahui dan membandingkan hasil perawatan yang lebih optimal dilakukan untuk mortar *geopolymer*.

Penelitian yang akan dilakukan mengacu pada penelitian sebelumnya yang berjudul "Resistance of Fly Ash Based Geopolymer Mortars in Sulfuric Acid" oleh Suresh Thokchom, Partha Ghosh, dan Sommath Ghosh (2009) dengan penelitian pengaruh perendaman mortar *geopolymer* pada larutan asam.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang dilakukan pada penelitian ini yaitu dengan cara pengumpulan data melalui eksperimen dan melakukan analisis pada data yang telah didapatkan. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Bahan dan Beton Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya dengan menyesuaikan jam

operasional yang berlaku. Berikut merupakan teknik pengumpulan data dan analisis yang dilakukan sebagai berikut :

1. Pembuatan *mix design* yang mengacu pada ASTM C579-01 guna mendapatkan rasio kebutuhan bahan
 2. Melakukan pembuatan benda uji pada tahapan uji coba (*trial*)
 3. Melakukan pengujian uji tekan dan porositas pada benda uji coba (*trial*) guna mengetahui kekuatan yang didapatkan
 4. Setelah hasil yang didapatkan pada benda uji coba (*trial*) dirasa memenuhi atau dalam kriteria yang ditentukan maka menentukan *mix design* pasti yang akan digunakan pada pembuatan benda uji
 5. Pembuatan *mix design* larutan asam dengan nilai pH 2,5-3,0 menggunakan rasio bahan yang telah ditentukan
 6. Pembuatan benda uji sesuai *mix design* dan lakukan perawatan dan pengujian pada benda uji sesuai dengan metode perawatan dan usia yang telah ditentukan
 7. Data yang telah diperoleh dari hasil pengujian yaitu data kuat tekan, porositas, dan berat pada tiap benda uji
 8. Melakukan analisis pada hasil yang telah didapatkan dengan hasil berupa tabel rekapitulasi dan grafik
- Selain itu terdapat beberapa rancangan penelitian yang dilakukan sebagai berikut :

Persiapan Alat dan Bahan

Persiapan alat dan bahan dilakukan guna mempermudah sebelum proses penelitian dilaksanakan. Adapun bahan yang digunakan yaitu :

1. Abu terbang (*fly ash*) kelas F yang diperoleh dari produsen dari ITS PTN BH
 2. agregat halus (pasir) berjenis pasir lumajang
 3. Air suling (aquades), natrium hidroksida (NaOH) 10 Molar, natrium silikat (Na₂SiO₃), sulfuric acid, humic acid, dan fulvic acid yang diperoleh dari toko kimia Bratachem Surabaya
- Selain persiapan bahan, persiapan alat juga perlu dilakukan agar mempercepat proses pembuatan mortar *geopolymer*. Berikut alat yang digunakan dalam pembuatan benda uji yaitu :
1. Ayakan/saringan pasir
 2. Gelas ukur
 3. Cawan dan baskom
 4. Timbangan
 5. Cetakan mortar (*molding*)
 6. Pengaduk adonan (*mixer*)

Uji Bahan

Sebelum bahan digunakan dalam pembuatan mortar *geopolymer*, bahan yang digunakan harus dilakukan pengujian guna mengetahui kualitas, karakteristik, dan kandungan yang terdapat pada bahan yang akan

digunakan. Berikut beberapa bahan yang dilakukan pengujian sebagai berikut:

1. Abu Terbang (*Fly Ash*)

Pengujian abu terbang (*fly ash*) dilakukan dengan cara pengujian berat jenis dan pengujian XRF (*X-ray Fluorescence*) untuk mengetahui kandungan kimia pada abu terbang (*fly ash*) yang akan digunakan.

2. Agregat Halus (Pasir)

Pengujian agregat halus (pasir) yang dilakukan mengacu pada SNI 03-4428-1997 dengan melakukan pengujian uji berat jenis, uji gradasi, uji penyerapan, dan uji kadar lumpur pada agregat halus (pasir) yang akan digunakan

3. Larutan Aktivator (NaOH, Na₂SiO₃, aquades)

Pengujian larutan aktivator (NaOH, Na₂SiO₃, aquades) dilakukan dengan cara pengujian berat jenis pada tiap larutan aktivator yang digunakan.

Komposisi Bahan (*Mix Design*) Benda Uji

Perhitungan komposisi bahan (*mix design*) pada penelitian mortar *geopolymer* merupakan modifikasi yang mengacu pada ASTM C579-01 guna mendapatkan rasio serta komposisi bahan yang dibutuhkan pada setiap *mix design* yang dibuat. Komposisi bahan (*mix design*) yang akan digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 1**

Tabel 1 Rasio Komposisi Bahan (*Mix Design*) Mortar *Geopolymer* 10 Molar Dengan Variasi Nilai W/S

Mix Design	W/S	PC	Pasir	Fly Ash	NaOH 10 Molar	Na ₂ SiO ₃	Air
1	0.40	0	2.75	1	0.261	0.391	0.05
2	0.45	0	2.75	1	0.310	0.465	0.05
3	0.50	0	2.75	1	0.363	0.545	0.05
4	0.55	0	2.75	1	0.422	0.633	0.05
5	0.60	0	2.75	1	0.487	0.730	0.05
6	0.65	0	2.75	1	0.557	0.835	0.05

Sedangkan komposisi bahan (*mix design*) untuk pembuatan larutan asam sebagai salah satu jenis perawatan pada benda uji dapat dilihat pada **Tabel 2**

Tabel 2 Komposisi Rasio Bahan Larutan Asam

No.	Nama Bahan	Rasio %
1	Fulvic Acid	0.49
2	Humic Acid	0.49
3	Sulfuric Acid	0.03

Sumber: Hasil Perhitungan

Selain komposisi bahan (*mix design*) rasio kebutuhan bahan pembuatan mortar *geopolymer* dan rasio pembuatan larutan asam, terdapat komposisi perhitungan larutan aktivator sodium hidroksida (NaOH) 10 Molar sebagai berikut;

$$\begin{aligned} \text{NaOH} &= \text{Na} + \text{O} + \text{H} \\ &= 23 + 16 + 1 \\ &= 40 \text{ gram/mol} \\ n &= M \times V \\ n &= 10 \text{ mol/liter} \times 1 \text{ liter} \end{aligned}$$

dimana :

$$\begin{aligned} n &= \text{jumlah mol zat} \\ M &= \text{kemolaran larutan} \\ V &= \text{volume larutan} \end{aligned}$$

maka :

$$\begin{aligned} n.\text{molaritas} &= (\text{mol/volume}) \times (\text{gram/NaOH}) \\ 10 \text{ Molar} &= (1/1) \times (\text{gram}/40) \\ \text{gram} &= 10 \times 40 \\ \text{gram} &= 400 \end{aligned}$$

Sehingga pada pembuatan larutan sodium hidroksida (NaOH) 10 Molar membutuhkan sebanyak 400 gram pellet sodium hidroksida (NaOH) untuk tiap 1 liter air suling (aquades).

Perawatan Benda Uji

Perawatan benda uji dilakukan guna mengetahui jenis perawatan yang dianggap baik untuk diterapkan. Terdapat beberapa proses perawatan yang dilakukan pada penelitian mortar *geopolymer* ini antara lain yaitu:

1. Suhu Ruang (Normal)

Perawatan suhu ruang (normal) yaitu perawatan pada benda uji dengan cara meletakkan benda uji pada ruangan tertutup dan terhindar dari sinar matahari langsung ataupun terkena genangan air.

2. Heat Curing (Oven)

Perawatan *heat curing* (*oven*) yaitu perawatan pada benda uji dengan cara memasukkan benda uji kedalam oven dengan suhu 100°C selama 24 jam yang bertujuan untuk mempercepat proses pengerasan pada benda uji.

3. Rendam Larutan Asam

Perawatan dengan cara direndam pada larutan asam yaitu perawatan pada benda uji dengan cara memasukkan benda uji kedalam larutan asam yang dibuat dengan ph 2,5-3,0 selama waktu yang telah ditentukan. Tujuan dari perawatan benda uji dengan direndam pada larutan asam yaitu untuk mengetahui apakah benda uji memiliki kekuatan yang sama dengan perawatan yang lain.

Pengujian Benda Uji

Pada penelitian mortar *geopolymer* yang dilakukan terdapat beberapa pengujian pada benda uji antara lain yaitu;

1. Uji Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan pada benda uji dilakukan setelah benda uji mencapai usia yang telah ditentukan.

Pengujian dilakukan pada benda uji setelah berusia 7, 28, dan 28 hari ditambah 28 hari setelah dilakukan proses perendama pada larutan asam dengan pH 2,5-3,0. Pengujian kuat tekan dilakukan di Laboratorium Bahan dan Beton Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya menggunakan alat uji tekan UTM (*Universal Testing Machine*).

Pada tiap komposisi bahan (*mix design*) diwakili sebanyak 3 benda uji dari masing-masing jenis perawatan yang dilakukan (suhu ruang dan *heat curing*).

2. Uji Porositas

Pengujian uji porositas pada benda uji dilakukan setelah benda uji mencapai usia yang telah ditentukan. Pengujian dilakukan pada benda uji setelah berusia 7, 28, dan 28 hari ditambah 28 hari setelah dilakukan proses perendama pada larutan asam dengan pH 2,5-3,0. Pengujian kuat tekan dilakukan di Laboratorium Bahan dan Beton Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya dengan merendam benda uji kedalam air selama 24 jam lalu ditimbang (SSD) setelah itu benda uji dimasukkan kedalam *oven* dengan suhu 100°C selama 24 jam kemudian ditimbang (kering *oven*).

Pada pengujian uji porositas diwakili sebanyak 2 benda uji dari masing-masing jenis perawatan yang dilakukan (suhu ruang dan *heat curing*).

Analisis Data

Analisis data yang dilakukan pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hasil yang diperoleh pada pengujian kuat tekan dan uji porositas yang telah dilakukan pada benda uji sesuai dengan komposisi bahan (*mix design*) dan kondisi yang telah ditentukan.

Hasil dari analisis data yang dilakukan yaitu hasil perbandingan antara kuat tekan dan porositas benda uji sesuai dengan perawatan yang dilakukan.

Perbandingan Analisis Penulis Dengan Penelitian Sebelumnya

Hasil yang telah diperoleh dari penelitian yang telah dilakukan oleh penulis lalu dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang mengacu pada penelitian yang berjudul "Resistence of Fly Ash Based Geopolymer Mortars in Sulfuric Acid" oleh Suresh Thokchom, Partha Ghosh, dan Sommath Ghosh (2009) dengan penelitian pengaruh perendaman mortar *geopolymer* pada larutan asam.

Tujuan dilakukannya perbandingan dengan penelitian sebelumnya yaitu mengetahui pengaruh perawatan mortar *geopolymer* pada larutan asam pada uji kuat tekan.

Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan dan saran adalah tahap akhir dalam metode penelitian yang telah dilakukan. Dimana data yang telah diperoleh dan telah dianalisis dapat ditarik kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan.

Kemudian dapat diberikan saran yang dianggap dapat membantu pengembangan penelitian yang telah dilakukan guna mendapatkan hasil yang lebih baik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Uji Kuat Tekan

Berikut merupakan rekapitulasi hasil uji kuat tekan mortar *geopolymer* pada usia 7, 28, dan 28 hari ditambah 28 hari direndam pada larutan asam dengan pH 2,5-3,0. Hasil uraian uji kuat tekan pada mortar *geopolymer* dapat dilihat pada uraian **Tabel 3**

Tabel 3 Rekapitulasi Hasil Uji Kuat Tekan Mortar *Geopolymer*

No.	W/S	Kondisi	Kuat Tekan (MPa)		
			7 hari	28 hari	28+28 rendam
1	0.40	Suhu Ruang	5.88	5.24	3.87
2	0.45	Suhu Ruang	7.96	10.86	9.89
3	0.50	Suhu Ruang	19.44	24.21	10.74
4	0.55	Suhu Ruang	13.56	23.81	12.19
5	0.60	Suhu Ruang	8.62	22.68	11.97
6	0.65	Suhu Ruang	5.77	22.48	10.76
7	0.40	Heat Curing	5.01	6.98	3.74
8	0.45	Heat Curing	12.62	16.98	14.34
9	0.50	Heat Curing	13.97	19.11	19.35
10	0.55	Heat Curing	34.04	31.94	20.72
11	0.60	Heat Curing	24.98	26.40	19.60
12	0.65	Heat Curing	15.67	13.26	15.03

Sumber: Data Primer

Berdasarkan **Tabel 3** dapat dilihat hasil rekapitulasi uji kuat tekan yang telah diperoleh dari benda uji pada usia 7, 28, dan 28 hari ditambah 28 hari direndam pada larutan asam dengan pH 2,5-3,0. Hasil uji kuat tekan mortar *geopolymer* dapat dilihat lebih jelas pada uraian grafik dibawah.



Gambar 1 Grafik Uji Kuat Tekan Usia 7 Hari Dengan Kondisi Suhu Ruang (Normal)

Sumber: Data Primer

Dari **Gambar 1** yaitu hasil uji kuat tekan usia 7 hari dengan kondisi suhu ruang memiliki kuat tekan tertinggi pada variasi W/S 0,50 sebesar 19,44 MPa dan kuat tekan terendah pada variasi W/S 0,65 sebesar 5,77 MPa.



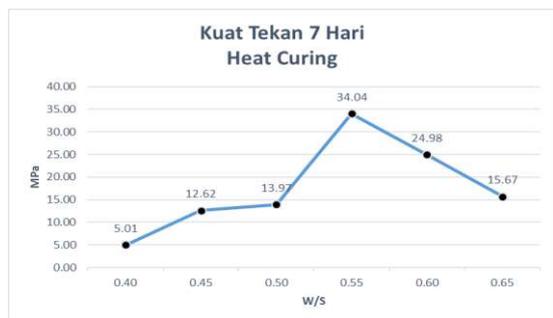
Gambar 2 Grafik Uji Kuat Tekan Usia 28 Hari Dengan Kondisi Suhu Ruang (Normal)
Sumber: Data Primer

Dari **Gambar 2** yaitu hasil uji kuat tekan usia 28 hari dengan kondisi suhu ruang memiliki kuat tekan tertinggi pada variasi W/S 0,50 sebesar 24,21 MPa dan kuat tekan terendah pada variasi W/S 0,40 sebesar 5,24 MPa.



Gambar 3 Grafik Uji Kuat Tekan Usia 28 Hari Ditambah 28 Hari Rendam Larutan Asam Dengan Kondisi Suhu Ruang (Normal)
Sumber: Data Primer

Dari **Gambar 3** yaitu hasil uji kuat tekan usia 28 hari ditambah 28 hari rendam pada larutan asam dengan kondisi suhu ruang memiliki kuat tekan tertinggi pada variasi W/S 0,55 sebesar 12,19 MPa dan kuat tekan terendah pada variasi W/S 0,40 sebesar 3,82 MPa.



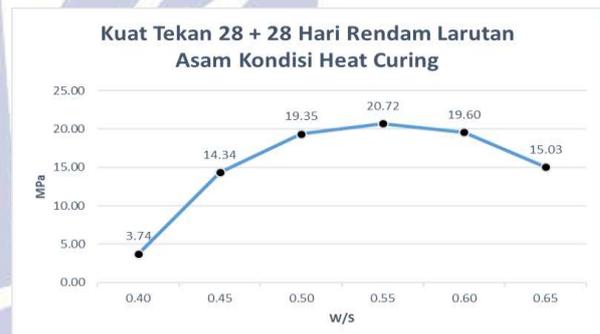
Gambar 4 Grafik Uji Kuat Tekan Usia 7 Hari Dengan Kondisi Heat Curing (Oven)
Sumber: Data Primer

Dari **Gambar 4** yaitu hasil uji kuat tekan usia 7 hari dengan kondisi *heat curing* memiliki kuat tekan tertinggi pada variasi W/S 0,55 sebesar 34,04 MPa dan kuat tekan terendah pada variasi W/S 0,40 sebesar 5,01 MPa.



Gambar 5 Grafik Uji Kuat Tekan Usia 28 Hari Dengan Kondisi Heat Curing (Oven)
Sumber: Data Primer

Dari **Gambar 5** yaitu hasil uji kuat tekan usia 28 hari dengan kondisi *heat curing* memiliki kuat tekan tertinggi pada variasi W/S 0,55 sebesar 31,94 MPa dan kuat tekan terendah pada variasi W/S 0,40 sebesar 6,98 MPa.



Gambar 6 Grafik Uji Kuat Tekan Usia 28 Hari Ditambah 28 Hari Rendam Larutan Asam Dengan Kondisi Heat Curing (Oven)
Sumber: Data Primer

Dari **Gambar 6** yaitu hasil uji kuat tekan usia 28 hari ditambah 28 hari rendam pada larutan asam dengan kondisi *heat curing* memiliki kuat tekan tertinggi pada variasi W/S 0,50 sebesar 20,72MPa dan kuat tekan terendah pada variasi W/S 0,40 sebesar 3,74 MPa.

Dapat disimpulkan bahwa hasil uji kuat tekan yang didapat, pada uji kuat tekan benda uji kondisi *heat curing (oven)* memiliki rata-rata kuat tekan lebih baik daripada kuat tekan benda uji pada kondisi suhu ruang (normal).

Hasil Uji Porositas

Berikut merupakan rekapitulasi hasil uji porositas mortar *geopolymer* pada usia 7, 28, dan 28 hari ditambah 28 hari direndam pada larutan asam dengan pH 2,5-3,0 Hasil uraian uji kuat tekan pada mortar *geopolymer* dapat dilihat pada uraian **Tabel 4**

Tabel 4 Rekapitulasi Hasil Uji Porositas Mortar *Geopolymer*

No.	W/S	Kondisi	Porositas (%)		
			7 hari	28 hari	28+28 rendam
1	0.40	Suhu Ruang	29.05	26.77	24.85
2	0.45	Suhu Ruang	24.93	23.42	21.65
3	0.50	Suhu Ruang	15.90	15.76	20.78
4	0.55	Suhu Ruang	19.05	16.47	19.99
5	0.60	Suhu Ruang	25.49	17.99	21.16
6	0.65	Suhu Ruang	26.74	21.93	24.79
7	0.40	Heat Curing	23.18	22.07	31.55
8	0.45	Heat Curing	17.60	17.93	26.56
9	0.50	Heat Curing	16.46	15.36	23.96
10	0.55	Heat Curing	15.26	14.13	19.63
11	0.60	Heat Curing	18.00	17.55	22.84
12	0.65	Heat Curing	19.94	19.66	25.80

Sumber: Data Primer

Berdasarkan **Tabel 4** dapat dilihat hasil rekapitulasi uji porositas yang telah diperoleh dari benda uji sesuai dengan usia yang telah ditentukan. Hasil uji porositas mortar *geopolymer* pada kondisi suhu ruang (normal) dapat dilihat lebih jelas pada uraian grafik dibawah.



Gambar 7 Grafik Uji Porositas Usia 7 Hari Kondisi Suhu Ruang (Normal)
Sumber: Data Primer

Dari **Gambar 7** yaitu hasil uji porositas usia 7 hari dengan kondisi suhu ruang memiliki hasil porositas tertinggi pada variasi W/S 0,40 sebesar 29,05% dan porositas terendah pada variasi W/S 0,50 sebesar 15,90%.



Gambar 8 Grafik Uji Porositas Usia 28 Hari Suhu Ruang (Normal)
Sumber: Data Primer

Dari **Gambar 8** yaitu hasil uji porositas usia 28 hari dengan kondisi suhu ruang memiliki hasil porositas tertinggi pada variasi W/S 0,40 sebesar 26,77% dan porositas terendah pada variasi W/S 0,50 sebesar 15,76%.

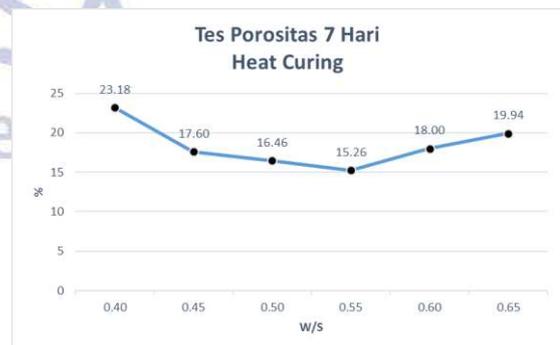


Gambar 9 Grafik Uji Porositas Usia 28 Hari Ditambah 28 Hari Rendam Larutan Asam Dengan Kondisi Suhu Ruang (Normal)
Sumber: Data Primer

Dari **Gambar 9** yaitu hasil uji porositas usia 28 hari ditambah 28 hari rendam larutan asam dengan kondisi suhu ruang memiliki hasil porositas tertinggi pada variasi W/S 0,40 sebesar 24,85% dan porositas terendah pada variasi W/S 0,55 sebesar 19,99%.

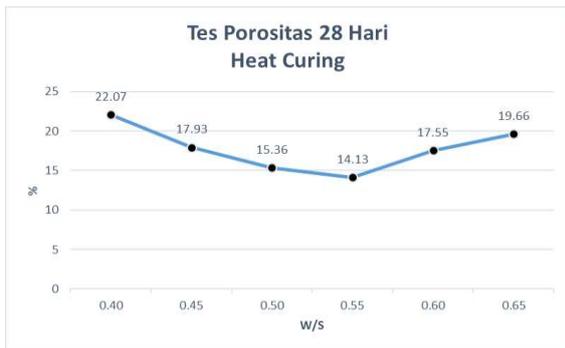
Gambar 7 hingga **Gambar 9** merupakan hasil tes porositas pada mortar *geopolymer* pada kondisi suhu ruang (normal). Hasil porositas optimum terjadi pada usia 28 hari.

Selain hasil tes porositas pada mortar *geopolymer* pada kondisi suhu ruang (normal), terdapat juga hasil tes porositas pada mortar *geopolymer* pada kondisi *heat curing (oven)* yang dapat dilihat lebih detail pada uraian gambar dibawah.



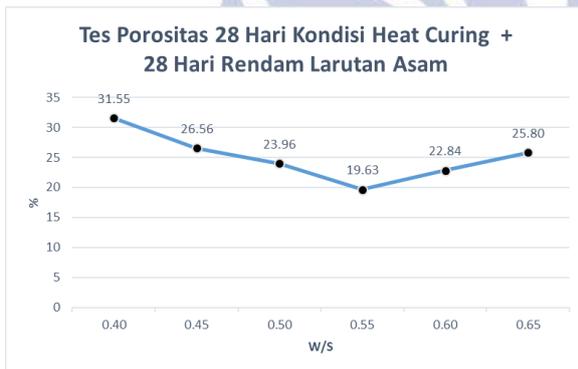
Gambar 10 Grafik Uji Porositas Usia 7 Hari Kondisi Heat Curing (Oven)
Sumber: Data Primer

Dari **Gambar 10** yaitu hasil uji porositas usia 7 hari kondisi *heat curing* memiliki hasil porositas tertinggi pada variasi W/S 0,40 sebesar 23,18% dan porositas terendah pada variasi W/S 0,55 sebesar 15,26%.



Gambar 11 Grafik Uji Porositas Usia 28 Hari Kondisi *Heat Curing* (Oven)
Sumber: Data Primer

Dari **Gambar 11** yaitu hasil uji porositas usia 28 hari kondisi *heat curing* memiliki hasil porositas tertinggi pada variasi W/S 0,40 sebesar 22,07% dan porositas terendah pada variasi W/S 0,55 sebesar 14,13%.



Gambar 12 Grafik Uji Porositas Usia 28 Hari Ditambah 28 Hari Rendam Larutan Asam Dengan Kondisi *Heat Curing* (Oven)
Sumber: Data Primer

Dari **Gambar 12** yaitu hasil uji porositas usia 28 hari ditambah 28 hari rendam larutan asam kondisi *heat curing* (oven) memiliki hasil porositas tertinggi pada variasi W/S 0,40 sebesar 31,55% dan porositas terendah pada variasi W/S 0,55 sebesar 19,63%.

Gambar 10 hingga **Gambar 12** merupakan hasil tes porositas pada mortar *geopolymer* pada kondisi *heat curing* (oven). Hasil porositas optimum terjadi pada usia 28 hari.

Berdasarkan hasil uji porositas yang didapat, pada uji porositas benda uji kondisi *heat curing* (oven) memiliki rata-rata porositas lebih kecil daripada porositas benda uji pada kondisi suhu ruang (normal).

Pembahasan

Dari hasil yang telah didapat dari pengujian kuat tekan dan porositas pada benda uji, selanjutnya data yang telah diperoleh akan dianalisis untuk dilakukan perbandingan. Berikut beberapa pembahasan yang akan dilakukan sebagai bentuk analisa dari data yang telah diperoleh dari pengujian yang telah dilakukan sebagai berikut:

Hubungan Kuat Tekan dan Porositas

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

Tabel 5 Rekapitulasi Hubungan Kuat Tekan dan Porositas Mortar *Geopolymer*

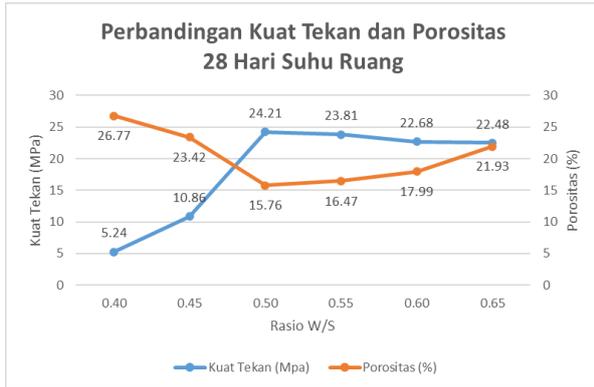
No.	W/S	Kondisi	Kuat Tekan (MPa)			Porositas (%)		
			7 hari	28 hari	28+28 rendam	7 hari	28 hari	28+28 rendam
1	0.40	Suhu Ruang	5.88	5.24	3.87	29.05	26.77	24.85
2	0.45	Suhu Ruang	7.96	10.86	9.89	24.93	23.42	21.65
3	0.50	Suhu Ruang	19.44	24.21	10.74	15.90	15.76	20.78
4	0.55	Suhu Ruang	13.56	23.81	12.19	19.05	16.47	19.99
5	0.60	Suhu Ruang	8.62	22.68	11.97	25.49	17.99	21.16
6	0.65	Suhu Ruang	5.77	22.48	10.76	26.74	21.93	24.79
7	0.40	Heat Curing	5.01	6.98	3.74	23.18	22.07	31.55
8	0.45	Heat Curing	12.62	16.98	14.34	17.60	17.93	26.56
9	0.50	Heat Curing	13.97	19.11	19.35	16.46	15.36	23.96
10	0.55	Heat Curing	34.04	31.94	20.72	15.26	14.13	19.63
11	0.60	Heat Curing	24.98	26.40	19.60	18.00	17.55	22.84
12	0.65	Heat Curing	15.67	13.26	15.03	19.94	19.66	25.80

Sumber: Data Primer



Gambar 13 Grafik Hubungan Kuat Tekan dan Porositas Usia 7 Hari Kondisi Suhu Ruang (Normal)

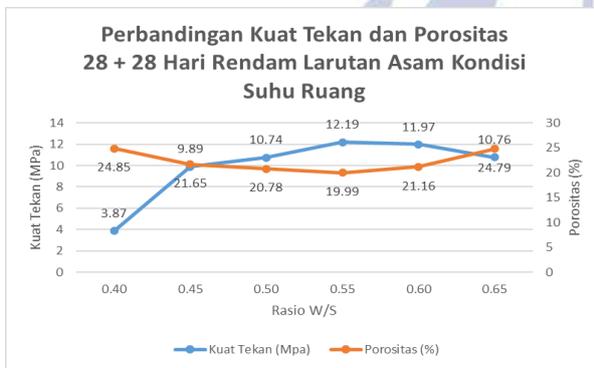
Sumber: Data Primer



Gambar 14 Grafik Hubungan Kuat Tekan dan Porositas Usia 28 Hari Kondisi Suhu Ruang (Normal)
Sumber: Data Primer



Gambar 17 Grafik Hubungan Kuat Tekan dan Porositas Usia 28 Hari Heat Curing (Oven)
Sumber: Data Primer



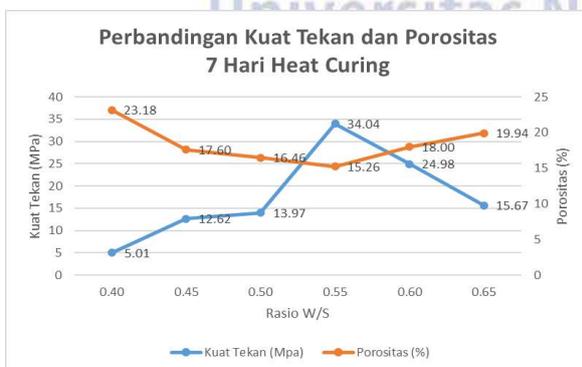
Gambar 15 Grafik Hubungan Kuat Tekan dan Porositas Usia 28 Hari Ditambah 28 Hari Rendam Larutan Asam Kondisi Suhu Ruang (Normal)
Sumber: Data Primer



Gambar 18 Grafik Hubungan Kuat Tekan dan Porositas Usia 28 Hari Ditambah 28 Hari Rendam Larutan Asam Kondisi Heat Curing (Oven)
Sumber: Data Primer

Pada **Gambar 13** sampai dengan **Gambar 15** merupakan hasil hubungan kuat tekan dan porositas benda uji dengan kondisi suhu ruang (normal) dengan usia pengujian 7, 28, dan 28 hari ditambah 28 hari setelah dilakukan proses perendama pada larutan asam.

Pada **Gambar 16** sampai dengan **Gambar 18** merupakan hasil hubungan kuat tekan dan porositas benda uji dengan kondisi *heat curing (oven)* dengan usia pengujian 7, 28, dan 28 hari ditambah 28 hari setelah dilakukan proses perendama pada larutan asam.



Gambar 16 Grafik Hubungan Kuat Tekan dan Porositas Usia 7 Hari Kondisi Heat Curing (Oven)
Sumber: Data Primer

Dari hasil perbandingan hubungan uji kuat tekan dan porositas benda uji pada kondisi suhu ruang (normal) dan *heat curing (oven)* sebelum dan sesudah direndam pada larutan asam memiliki hasil uji kuat tekan dan porositas yang berlawanan. Dimana jika hasil uji kuat tekan memiliki nilai yang tinggi maka hasil porositas semakin rendah, namun jika hasil uji kuat tekan rendah maka hasil porositas memiliki nilai yang tinggi.

Hubungan Kuat Tekan dan Berat Benda Uji Sebelum dan Sesudah Direndam Pada Larutan Asam

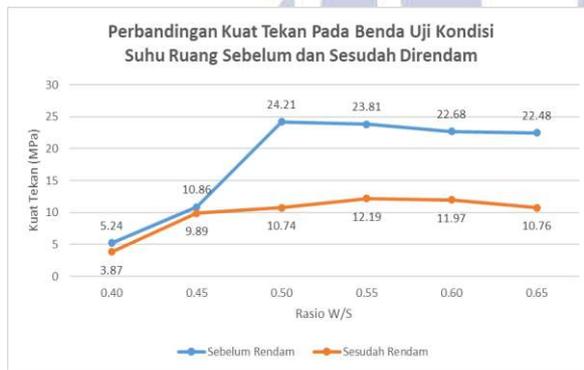
Hubungan antara uji kuat tekan dan berat pada benda uji dapat sebelum dan sesudah direndam pada larutan asam diambil dari data kuat tekan usia 28

hari karena memiliki nilai yang baik dan akan dibandingkan dengan kuat tekan benda uji setelah direndam pada larutan asam selama 28 hari. Hasil rekapitulasi dapat dilihat pada uraian Tabel dan Grafik dibawah:

Tabel 6 Rekapitulasi Kuat Tekan Mortar *Geopolymer* Sebelum dan Setelah Direndam Larutan Asam Kondisi Suhu Ruang (Normal)

No.	W/S	Sebelum Rendam	Setelah Rendam
		Kuat Tekan (Mpa)	
1	0.40	5.24	3.87
2	0.45	10.86	9.89
3	0.50	24.21	10.74
4	0.55	23.81	12.19
5	0.60	22.68	11.97
6	0.65	22.48	10.76

Sumber: Data Primer



Gambar 19 Grafik Perbandingan Kuat Tekan Benda Uji Sebelum Dan Sesudah Direndam Larutan Asam Kondisi Suhu Ruang (Normal)

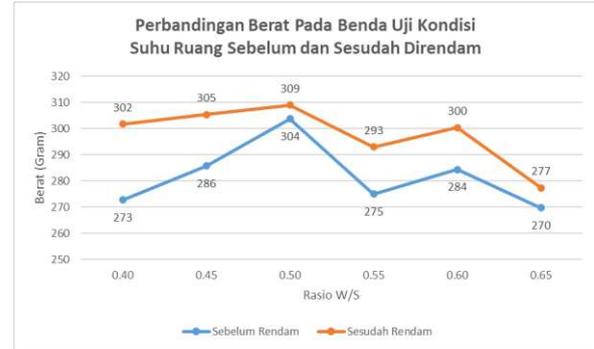
Sumber: Data Primer

Dari **Gambar 19** dapat disimpulkan bahwa kekuatan uji tekan benda uji kondisi suhu ruang (normal) sebelum direndam lebih baik daripada kuat tekan benda uji setelah direndam.

Tabel 7 Rekapitulasi Berat Mortar *Geopolymer* Sebelum dan Setelah Direndam Larutan Asam Kondisi Suhu Ruang (Normal)

No.	W/S	Sebelum Rendam	Setelah Rendam
		Berat (gram)	
1	0.40	273	302
2	0.45	286	305
3	0.50	304	309
4	0.55	275	293
5	0.60	284	300
6	0.65	270	277

Sumber: Data Primer



Gambar 20 Grafik Perbandingan Berat Benda Uji Sebelum Dan Sesudah Direndam Larutan Asam Kondisi Suhu Ruang (Normal)

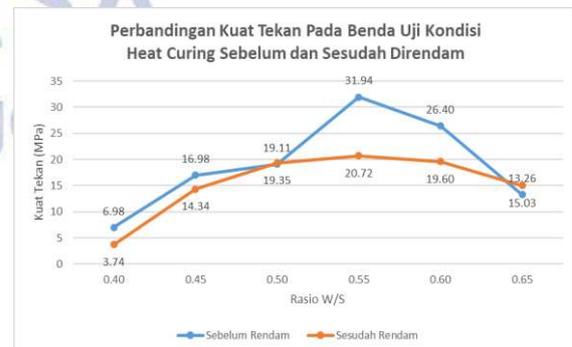
Sumber: Data Primer

Dari **Gambar 20** dapat disimpulkan bahwa berat benda uji kondisi suhu ruang (normal) sebelum direndam lebih ringan daripada berat benda uji setelah direndam.

Tabel 8 Rekapitulasi Kuat Tekan Mortar *Geopolymer* Sebelum dan Setelah Direndam Larutan Asam Kondisi Heat Curing (Oven)

No.	W/S	Sebelum Rendam	Sesudah Rendam
		Kuat Tekan (Mpa)	
1	0.40	6.98	3.74
2	0.45	16.98	14.34
3	0.50	19.11	19.35
4	0.55	31.94	20.72
5	0.60	26.40	19.60
6	0.65	13.26	15.03

Sumber: Data Primer



Gambar 21 Grafik Perbandingan Kuat Tekan Benda Uji Sebelum Dan Sesudah Direndam Larutan Asam Kondisi Heat Curing (Oven)

Sumber: Data Primer

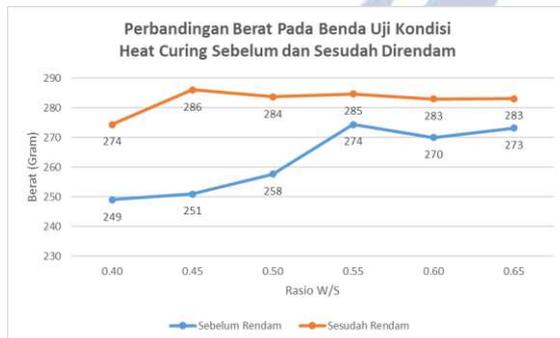
Dari **Gambar 21** dapat disimpulkan bahwa kekuatan uji tekan benda uji kondisi heat curing

(oven) sebelum direndam lebih baik daripada kuat tekan benda uji setelah direndam.

Tabel 9 Rekapitulasi Berat Mortar *Geopolymer* Sebelum dan Setelah Direndam Larutan Asam Kondisi *Heat Curing (Oven)*

No.	W/S	Sebelum Rendam	Sesudah Rendam
		Berat (gram)	
1	0.40	249	274
2	0.45	251	286
3	0.50	258	284
4	0.55	274	285
5	0.60	270	283
6	0.65	273	283

Sumber: Data Primer



Gambar 22 Grafik Perbandingan Berat Benda Uji Sebelum Dan Sesudah Direndam Larutan Asam Kondisi *Heat Curing (Oven)*

Sumber: Data Primer

Dari **Gambar 22** dapat disimpulkan bahwa berat benda uji kondisi *heat curing (oven)* sebelum direndam lebih ringan daripada berat benda uji setelah direndam.

Perbandingan Analisis Penulis Dengan Penelitian Sebelumnya

Pada penelitian sebelumnya yang berjudul "Resistence of Fly Ash Based Geopolymer Mortars in Sulfuric Acid" oleh Suresh Thokchom, Partha Ghosh, dan Sommath Ghosh (2009) dengan penelitian pengaruh perendaman mortar *geopolymer* pada larutan asam memiliki hasil kuat tekan yang semakin menurun jika perendaman benda uji pada larutan asam semakin lama. Dimana benda uji yang direndam pada larutan asam selama 15 minggu kehilangan kekuatannya saat dilakukan pengujian kuat tekan pada benda uji.

Maka dari hasil penelitian yang dilakukan oleh penulis dan ditinjau dari referensi yang diambil dari penelitian sebelumnya memiliki hasil yang relatif hampir sama dan masih pada kisaran penelitian

sebelumnya dimana hasil uji kuat tekan benda uji yang direndam pada larutan asam mengalami penurunan pada saat dilakukan uji kuat tekan seiring lama waktu perendaman yang dilakukan. Sehingga penelitian yang dilakukan dapat dilanjutkan agar mendapatkan hasil yang lebih optimal.

PENUTUP

Simpulan

Dari hasil penelitian penggunaan abu terbang (*fly ash*) kelas F sebagai bahan substitusi dengan variasi nilai W/S menggunakan NaOH 10 Molar dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Penggunaan abu terbang (*fly ash*) kelas F sebagai bahan substitusi memiliki hasil kuat tekan dan porositas yang tidak jauh berbeda dengan menggunakan *portland cement (PC)*.
2. Hasil uji kuat tekan dan porositas pada benda uji kondisi suhu ruang (normal) memiliki kuat tekan optimum pada variasi W/S 0,55 dengan nilai 24,21 MPa dan porositas 15,76% pada usia 28 hari.
3. Hasil uji kuat tekan dan porositas pada benda uji kondisi *heat curing (oven)* memiliki kuat tekan optimum pada variasi W/S 0,55 dengan nilai 31,94 MPa dan porositas 14,13% pada usia 28 hari.
4. Hasil uji kuat tekan dan porositas pada benda uji setelah direndam pada larutan asam dengan ph 2,5-3,0 selama 28 hari mengalami penurunan pada kuat tekan dan mengalami peningkatan pada uji porositas. Dimana benda uji kondisi suhu ruang (normal) memiliki kuat tekan optimum sebesar 12,19 MPa dan porositas 19,99% pada variasi W/S 0,55. Sedangkan benda uji kondisi *heat curing (oven)* memiliki kuat tekan optimum sebesar 20,72 MPa dan porositas 19,63% pada variasi W/S 0,55.

Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan terdapat beberapa saran guna penelitian lebih lanjut anatar lain:

1. Pada saat proses pencampuran bahan pastikan bahan tercampur merata agar homogen.
2. Saat proses pengujian kuat tekan menggunakan alat UTM (*Universal Testing Machine*) lakukan dengan teliti setelah alat dikalibrasi.
3. Saat proses perendaman benda uji kedalam larutan asam lebih hati-hati dan menggunakan alat pelindung diri (APD) agar tidak terkontaminasi bahan kimia yang terkandung pada larutan asam.

UCAPAN TERIMAKASIH

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya serta sholawat dan salam kepada baginda Rasulullah SAW sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu dari awal hingga akhir pada proses penelitian ini. Kepada yang terhormat :

1. Bapak Ir. Arie Wardhono, S.T., M.MT., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, saran serta bimbingan kepada penulis selama proses penelitian dan penyusunan artikel
2. Bapak Drs. H. Soeparno, M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Negeri Surabaya
3. Ibu Prof. Dr. Erina Rahmadyanti, S.T., M.T. selaku Koordinator Skripsi dan Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Negeri Surabaya
4. Kepada kedua orang tua yang telah memberikan doa, semangat dan motivasi kepada penulis selama penyusunan artikel dan proses penelitian
5. Kepada teman-teman seperjuangan dalam penelitian yang selalu kompak dan saling membantu dalam menyelesaikan penelitian dan artikel

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM C270-10. 2010. *Standart Spesification 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. *Standart Spesification 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 Standarts. 2002. ASTM 109/C 109M-2. *Standart Tes Method for Compresivve Strength of Hydraulic Cement Mortas (Using 2-in or 50-mm Cube Specimens)*. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM C579-01. *Standart Tes Method for Compresivve Strength of Chemical-Resistant Mortars, Grouts, Monolithic,*

and Polymer Concretes. ASTM International, West Conshohocken, PA.

Davidovits, J. 1991. *Geopolymer; Inorganic Polymeric New Materials*. Geopolymer Institute. France.

Mulyono, Tri. 2004. *Teknologi Beton*. Yogyakarta 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 Nasional Indonesia

SNI 03-6825-2002. *Tentang Metode Pengujian Kuat Tekan Mortar Semen Portland untuk Pekerjaan Sipil*. Badan Nasional Indonesia

Suresh Thokchom, dkk, 2009. *Resistence of Fly Ash Based Geopolymer Mortars in Sulfuric Acid*. Jadavpur University, Kolkata, India