

PENGARUH RASIO W/S TERHADAP MORTAR GEOPOLIMER BERBAHAN DASAR ABU TERBANG DENGAN NaOH 12 MOLAR PADA KONDISI ASAM

Safina Iman Afiyah

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

e-mail: safina.18074@mhs.unesa.ac.id

Arie Wardhono

Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

e-mail: ariewardhono@unesa.ac.id

Abstrak

Mortar geopolimer adalah salah satu cara alternatif untuk mengurangi pemanasan global yang diakibatkan penggunaan semen Portland yang merupakan bahan penyusun utama dalam pembuatan beton untuk pembangunan konstruksi. Bahan pengikat pada mortar geopolimer tidak menggunakan semen Portland melainkan menggunakan abu terbang yang memiliki kandungan silika dan alumina yang tinggi. Pemakaian abu terbang reaksi yang terjadi yaitu polimerisasi pada kandungan komponen alkali aktivator berupa sodium hidroksida (NaOH) dan sodium hidroksida (Na_2SiO_3). Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu metode eksperimen. Pada penelitian ini dilakukan perawatan pada mortar geopolimer dengan perendaman dalam larutan asam dengan kadar pH 2,0-3,0 untuk mengetahui ketahanan mortar geopolimer terhadap lingkungan korosif. Bahan penyusun utama dalam pembuatan mortar geopolimer ini adalah abu terbang kelas F dengan cairan aktivator gabungan dari sodium silikat dan sodium hidroksida 12 Molar. Proses pembuatan mortar geopolimer pada penelitian ini dilakukan dengan dua kondisi yaitu pada suhu ruang dan pengovenan dengan suhu 100°C selama 24jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa mortar geopolimer pada kondisi oven memiliki rata-rata kuat tekan yang tinggi. Pada usia 7 hari kuat tekan diperoleh 32,17 MPa dan usia 28 hari 28,43 MPa. Namun, pada proses perawatan dengan perendaman larutan asam nilai kuat tekan mortar geopolimer cenderung menurun 4%-28%. Sedangkan, hasil porositas pada kondisi oven diperoleh hasil sebesar 12,58% saat usia 7 hari dan 22,31 % saat usia 28 hari.

Kata Kunci: mortar, geopolimer, abu terbang, kuat tekan, porositas larutan asam

Abstract

Geopolymer mortar is an alternative way to reduce global warming caused by the use of Portland cement, which is the main ingredient in making concrete for construction. The binder in the geopolymer mortar does not use Portland cement but uses fly ash which has high silica and alumina content. The use of fly ash, the reaction that occurs is polymerization in the content of alkaline activator components in the form of sodium hydroxide (NaOH) and sodium hydroxide (Na_2SiO_3). The method used in this study is experimental method. In this study, the geopolymer mortar was treated by immersion in an acid solution with a pH level of 2.0-3.0 to determine the resistance of the geopolymer mortar to a corrosive environment. The main constituent material in the manufacture of this geopolymer mortar is fly ash with a combined activator liquid of sodium silicate and 12 Molar sodium hydroxide. The process of making geopolymer mortar in this study was carried out under two conditions, namely at room temperature and heat curing 100°C for 24 hours. The results showed that the geopolymer mortar under heat curing had a high average compressive strength. At the age of 7 days, the compressive strength was 32.17 MPa and at 28 days was 28.43 MPa. However, in the treatment process by immersion in an acid solution, the compressive strength of geopolymer mortar tends to decrease by 4%-28%. Meanwhile, the results of porosity in heat curing obtained results of 12.58% at the age of 7 days and 22.31% at the age of 28 days.

Keywords: mortar, geopolymer, fly ash, compressive strength, porosity, acid solution

PENDAHULUAN

Semakin pesatnya pembangunan pada era sekarang mendorong penggunaan semen juga semakin meningkat. Semen adalah salah satu bahan campuran dalam pembuatan beton yang sangat penting dalam pembangunan sebuah bangunan konstruksi. Semen

sendiri memberi dampak negatif bagi lingkungan sekitar. Dampak yang paling terlihat adalah terjadinya pemanasan global akibat pelepasan emisi karbon dioksida (CO_2) ke udara yang mengakibatkan polusi (Guereca, dkk, 2015).

Abu terbang adalah hasil dari pembakaran batu bara yang merupakan material buangan dari industri dan PLTU. Material abu terbang ini memiliki kandungan silika yang tinggi, apabila dibuang secara terbuka dapat mengakibatkan pencemaran pada lingkungan sekitar. Maka salah satu cara agar tidak mencemari lingkungan, abu terbang digunakan sebagai bahan pengganti semen. (Sumajow M.D.J dan Dapas S.O, 2013)

Beton *geopolymer* terbentuk dengan memanfaatkan ikatan kimia dari bahan alam non organik yang memiliki kandungan silika dan alumina tinggi dengan bantuan larutan aktivator yang pada umumnya menggunakan larutan Sodium Hidroksida dan Sodium Silikat dengan perbandingan antara 0,4 sampai 2,5 (Hardjito, 2005).

Ketahanan mortar *geopolymer* yaitu mampu tahan terhadap serangan yang sifatnya merusak dan menurunkan mutu mortar *geopolymer*. Ketahanan mortar *geopolymer* dapat dipengaruhi dengan perawatan atau *curing*, karena dapat menjaga keadaan mortar *geopolymer* tidak terjadi keretakan (Andaru, dkk, 2016).

Lingkungan asam rentan mengakibatkan kerusakan berjangka panjang pada struktur bangunan karena asam-asam organik dan non organik yang terdapat pada senyawa asam. Material beton *geopolymer* memiliki ketahanan yang lebih tinggi terhadap lingkungan asam karena memiliki ikatan alumina dan silika yang stabil dan tidak mudah bereaksi langsung dengan senyawa asam (Olivia Monita, 2015).

Pada penelitian ini mortar *geopolymer* menggunakan sodium hidroksida (NaOH 12M) dengan variasi perawatan di suhu ruang, pengovenan (*heat curing*). Pada usia 7 hari dan 28 akan diuji kuat tekan dan porositas. Lalu pada usia 28 hari benda uji direndam pada larutan asam selama 28 hari untuk diuji kuat tekan dan porositas.

METODE

Jenis penelitian ini yaitu penelitian ekperimental yang bertujuan untuk menguji pengaruh suatu variabel terhadap variabel, menguji hubungan sebab akibat antar variabel serta membandingkan dengan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Bahan dan Beton Teknik Sipil Universitas Negeri Surabaya. Tentang rancangan penelitian akan diuraikan sebagai berikut:

Persiapan Alat dan Bahan

Sebelum dilaksanakannya penelitian, dilakukan persiapan terlebih dahulu alat dan bahan yang akan dibutuhkan. Alat yang digunakan pada penelitian yaitu ayakan, *mixer*, cetakan mortar 5x5x5cm, oven, *box*, plastik *wrap*, jangka sorong, gelas ukur, timbangan, sarung tangan, baskom, pH meter dan alat uji tekan (*Universal Testing Machine*). Bahan penyusun mortar *geopolymer* adalah sebagai berikut:

1. Pasir
Pada penelitian ini pasir yang digunakan berasal dari Lumajang, Jawa Timur. Pasir yang digunakan didapat dari UD. Banuwa Kita.
2. Abu Terbang atau *Fly Ash*
Pada penelitian ini menggunakan abu terbang dari limbah hasil pembakaran batu bara pada PLTU di Paiton. Abu terbang yang digunakan didapat dari CV. Dwi Mitra Surya.
3. Air Suling / Aquades
Pada penelitian ini air suling bisa didapat dari PT. Brataco.
4. Sodium Silikat (Na₂SiO₃)
Sodium silikat berbentuk cairan yang bisa didapatkan dari PT. Brataco.
5. Sodium Hidroksida 12 Molar

Pada penelitian ini menggunakan aktivator bahan kimia (NaOH) yang didapat dari PT. Brataco. Sodium hidroksida berbentuk serpihan yang dimolarkan menggunakan aquades. Pembuatan larutannya dibutuhkan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Mr NaOH} &= \text{Ar Na} + \text{Ar O} + \text{Ar H} \\ &= 23 + 16 + 1 \\ &= 40 \text{ gram/mol} \\ n &= M \times V \\ &= 12 \text{ mol/liter} \times 1 \text{ liter} \\ &= 12 \text{ mol} \\ n \text{ molaritas} &= \frac{\text{mol}}{\text{volume}} \\ \text{dimana mol} &= \frac{\text{gram}}{\text{Mr}} \\ n \text{ molaritas} &= \frac{\text{gram}}{\text{Mr}} \times \frac{1}{\text{volume}} \\ 12 \text{ M} &= \frac{\text{gram}}{40} \times \frac{1}{1} \\ &= 12 \times 40 \\ &= 480 \text{ gram} \end{aligned}$$

Dimana:

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

Maka untuk pembuatan larutan NaOH 12 Molar membutuhkan 480gram NaOH untuk setiap 1 liter air. Larutan tersebut dibuat sebanyak yang dibutuhkan.

Uji Bahan

Sebelum dilaksanakannya pembuatan benda uji, bahan penyusun mortar *geopolymer* di uji terlebih dahulu. Tujuan dari pengujian ini adalah mengetahui kualitas dari masing-masing bahan penyusun mortar *geopolymer*. Berikut bahan yang diuji antara lain:

1. *Fly Ash* (FA)

Pengujian yang dilakukan untuk mengetahui kandungan kimia pada *fly ash*. Metode pengujian yang digunakan yaitu uji XRF (*X-Ray*

Fluorescence). Hasil pengujian didapat nilai kandungan SiO₂ (*Silicon Dioxide*) sebesar 44,49%.

2. Pasir

Pasir adalah salah satu bahan penyusun utama mortar *geopolymer* yang diuji terlebih dahulu. Pengujian pasir mengacu pada SNI 03-4428-1997 yang mana terdiri dari uji berat jenis pasir, uji gradasi pasir, uji penyerapan air, dan uji kadar lumpur dalam pasir. Hasil uji yang diperoleh yaitu pasir berada di zona III dengan berat jenis pasir 2,25gram/cm³.

Penyusunan *Mix Design* Benda Uji

Dalam penelitian ini *mix design* yang akan direncanakan mengacu pada ASTM C579-01 dengan modifikasi. Tujuan ini dilakukan guna mendapatkan rasio dan kebutuhan bahan yang akan digunakan. Perhitungan dilakukan dengan variasi rasio *fly ash*, pasir, sodium hidroksida (NaOH 12 M) dan sodium silikat untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kuat tekan dan porositas.

Setelah perhitungan rencana takaran bahan sesuai terhadap rasio rencana, selanjutnya dilaksanakan pembuatan benda uji mortar *geopolymer*. Rencana *mix design* dapat dilihat pada **Tabel 1** dibawah ini.

Tabel 1 Kebutuhan Bahan *Mix Design*

Mix	Mix Design				
	Pasir	FA	NaOH	Na ₂ SiO ₃	Air
	gram	gram	gram	gram	gram
1	7010	2398	402	697	57
2	6812	2330	466	808	55
3	6605	2259	534	924	53
4	6393	2187	602	1044	52
5	6175	2112	672	1166	50
6	5950	2035	746	1292	48
7	7010	2398	402	697	57
8	6812	2330	466	808	55
9	6605	2259	534	924	53
10	6393	2187	602	1044	52
11	6175	2112	672	1166	50
12	5950	2035	746	1292	48

Sumber: Hasil Perhitungan

Perawatan Benda Uji

Proses perawatan mortar *geopolymer* dilakukan di dua kondisi dengan menggunakan oven 100°C selama 24 jam dan dalam kondisi suhu ruang. Setelah melalui perawatan di dua kondisi tersebut, mortar *geopolymer* akan direndam dalam larutan asam dengan pH 2,0-3,0. Pembuatan larutan asam dengan dibutuhkan bahan yaitu

Asam Sulfat, Asam Humat, Asam Fulfat, dan Air Suling. Air yang digunakan untuk perendaman sebanyak 39,6 liter. Rencana *mix design* pembuatan larutan asam tertera pada **Tabel 2** berikut.

Tabel 2 Kebutuhan Bahan Larutan Asam

Bahan	Rasio	Berat (gr)
Air : Asam Fulfat	1 : 0,49	196
Air : Asam Humat	1 : 0,49	196
Air : Asam Sulfat	1 : 0,03	12

Sumber: Hasil Perhitungan

Pengujian Benda Uji

Pengujian dilakukan guna mendukung hasil penelitian yang sesuai dengan perencanaan. Penelitian ini menggunakan 2 jenis pengujian pada benda uji mortar *geopolymer* yaitu antara lain:

1. Uji Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan dilaksanakan pada benda uji saat berusia 7 dan 28 hari di kondisi normal, lalu pada saat benda uji berusia 28 hari dilakukan perendaman pada larutan asam selama 28 hari. Pengujian dilakukan di Laboratorium Bahan dan Beton Teknik Sipil Universitas Negeri Surabaya. Alat uji kuat tekan yang digunakan yaitu *Universal Testing Machine* WE-600B, 360V. Sampel benda uji yang akan diuji sebanyak 3 buah dari tiap variasi *mix design*.

2. Uji Porositas

Tahap pengujian porositas juga sama seperti uji kuat tekan. Benda uji mortar *geopolymer* dilakukan saat berusia 7 dan 28 hari di kondisi normal, dilanjutkan saat benda uji berusia 28 hari dilakukan perendaman pada larutan asam selama 28 hari. Pengujian dilakukan di Laboratorium Bahan dan Beton Teknik Sipil Universitas Negeri Surabaya. Pengujian dilakukan dengan cara merendam benda uji dalam air selama 24 jam lalu menimbang berat benda uji tersebut, gunakan oven selama 24 jam di suhu 100°C untuk mendapat nilai kering oven dan ditimbang kembali.

Analisis Data

Analisis data bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh penggunaan *fly ash* pada lingkungan korosif yang dikondisikan dalam larutan asam dengan pH 2,0-3,0 terhadap kuat tekan dan porositas mortar *geopolymer*.

Analisis dan Komparasi dengan Penelitian Sebelumnya

Tujuan dilakukannya perbandingan yaitu untuk mengetahui apakah ada kemajuan dari penelitian yang saat ini dilakukan dengan penelitian sebelumnya. Pada tahap ini juga, peneliti dapat memperkaya teori dan referensi guna menunjang keberhasilan penelitian.

Kesimpulan dan Saran

Pada tahap terakhir ini data yang didapat dari penelitian ditarik kesimpulan agar menjawab tujuan dari penelitian. Saran diberikan unruk mengembangkan penelitian yang akan mendatang.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Uji Kuat Tekan

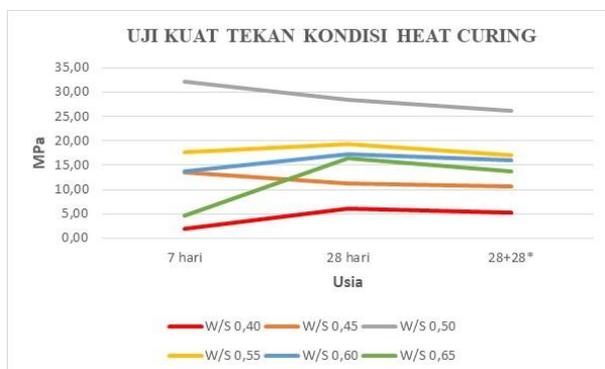
Hasil uji kuat tekan mortar *geopolymer* dilakukan pada usia 7, 28 hari pada kondisi suhu ruang dan *heat curing*. Kemudian saat benda uji berusia 28 hari direndam larutan asam selama 28 hari. Berikut hasil uji kuat tekan dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3 Hasil Uji Kuat Tekan

Mix	Keterangan W/S	Kondisi	Kuat Tekan (MPa)		
			7 hari	28 hari	28+28*
1	0,40	Suhu Ruang	4,87	5,28	4,54
2	0,45		11,82	9,61	8,51
3	0,50		12,58	22,31	17,41
4	0,55		7,67	17,38	16,68
5	0,60		6,77	15,34	13,95
6	0,65		4,18	10,36	9,37
7	0,40	Heat Curing	1,98	6,04	5,17
8	0,45		13,52	11,34	10,66
9	0,50		32,17	28,43	26,12
10	0,55		17,63	19,41	17,04
11	0,60		13,73	17,30	16,09
12	0,65		4,66	16,32	13,70

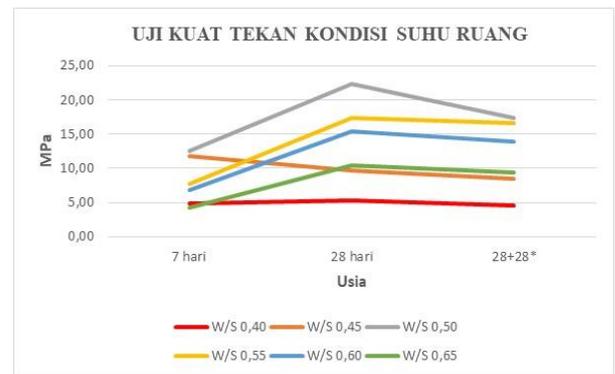
Sumber: Data Primer

Berdasarkan **Tabel 3** diperoleh hasil uji kuat tekan usia 7, 28 hari pada kondisi suhu ruang dan *heat curing* serta pengujian setelah direndam larutan asam selama 28 hari menyatakan bahwa seiring bertambahnya usia benda uji cenderung mengalami kenaikan. Hasil uji kuat tekan mortar *geopolymer* dapat dilihat lebih detail dari grafik pada **Gambar 1** dan **2** berikut ini.



Gambar 1 Grafik Uji Kuat Tekan Kondisi Heat Curing

Sumber: Data Primer



Gambar 2 Grafik Uji Kuat Tekan Kondisi Suhu Ruang

Sumber: Data Primer

Pada perawatan dengan suhu ruang seiring bertambahnya usia nilai kuat tekan pada tiap *mix design* mengalami peningkatan, kecuali pada *mix design 2* dengan W/S 0,45 nilai kuat tekan mengalami penurunan. Pada usia 7 hari nilai kuat tekan sebesar 11,82 MPa namun di usia 28 hari nilainya turun menjadi 9,61 MPa. Begitu juga dengan kondisi *heat curing*, seiring bertambahnya usia benda uji nilai kuat tekan mengalami peningkatan. Namun, pada *mix design 8* dengan W/S 0,45 saat usia 7 hari nilai kuat tekan sebesar 13,52 MPa dan saat usia 28 hari nilainya turun menjadi 11,34 MPa. Sedangkan pada *mix design 9* nilai kuat tekan di usia 7 hari sebesar 32,17 MPa lalu nilainya turun saat usia 28 hari menjadi sebesar 28,43 MPa. Nilai kuat tekan optimum terdapat pada variasi *mix design 9* pada usia 7 hari sebesar 32,17 MPa.

Hasil Uji Porositas

Hasil uji porositas mortar *geopolymer* dilakukan pada usia 7, 28 hari pada kondisi suhu ruang dan *heat curing* serta pengujian setelah direndam larutan asam selama 28 hari. Berikut hasil uji kuat tekan dapat dilihat pada **Tabel 4**.

Tabel 4 Hasil Uji Porositas

Mix	Keterangan W/S	Kondisi	Porositas (%)		
			7 hari	28 hari	28+28*
1	0,40	Suhu Ruang	30,84	25,98	31,55
2	0,45		22,62	22,98	29,18
3	0,50		10,96	16,09	19,81
4	0,55		19,74	17,31	22,14
5	0,60		26,63	18,89	27,72
6	0,65		28,75	21,92	31,85
7	0,40	Heat Curing	23,73	29,75	21,87
8	0,45		17,24	14,58	19,93
9	0,50		14,74	12,80	15,80
10	0,55		15,09	15,73	19,55
11	0,60		19,88	16,44	21,98
12	0,65		21,40	18,68	22,38

Sumber: Data Primer

Berdasarkan **Tabel 4** diatas menunjukkan bahwa hasil porositas pada *mix design* 1 dan 7 dengan W/S 0,40 memiliki nilai porositas yang tinggi. Pada *mix design* 2 dan 8 dengan W/S 0,45 mengalami penurunan hingga *mix design* 3 dan 9. Nilai terendah porositas terdapat pada *mix design* 3 dan 9 dengan W/S 0,50 yang mana terjadi kuat tekan optimum di penelitian ini. *Mix design* 4 dan 10 dengan W/S 0,60 mengalami peningkatan dari W/S 0,50. Begitupun dengan *mix design* 5 dan 11 yang nilai prosoitas semakin meningkat.

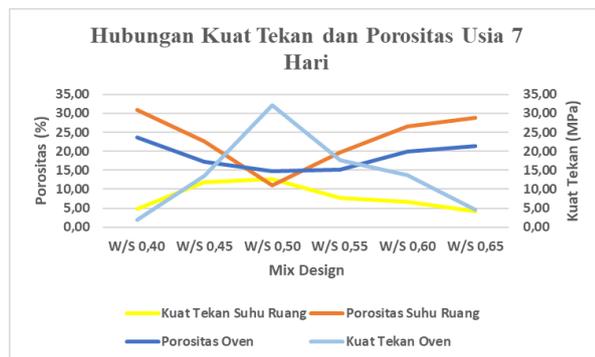
Analisis Hubungan Kuat Tekan dan Porositas

Pengujian kuat tekan dan porositas dalam penelitian ini terdapat 12 *mix design* dengan usia 7, 28 hari pada kondisi suhu ruang dan *heat curing* serta pengujian setelah direndam larutan asam selama 28 hari. Hubungan antara kuat tekan dan porositas pada mortar *geopolymer* dapat dilihat pada Tabel dan Grafik berikut.

Tabel 5 Hubungan Kuat Tekan dan Porositas Usia 7 Hari

Mix	Keterangan W/S	Kondisi	Kuat Tekan (MPa)	Porositas (%)
1	0,40	Suhu Ruang	4,87	30,84
2	0,45		11,82	22,62
3	0,50		12,58	10,96
4	0,55		7,67	19,74
5	0,60		6,77	26,63
6	0,65		4,18	28,75
7	0,40	Heat Curing	1,98	23,73
8	0,45		13,52	17,24
9	0,50		32,17	14,74
10	0,55		17,63	15,09
11	0,60		13,73	19,88
12	0,65		4,66	21,40

Sumber: Data Primer



Gambar 3 Grafik Hubungan Kuat Tekan dan Porositas Usia 7 hari

Sumber: Data Primer

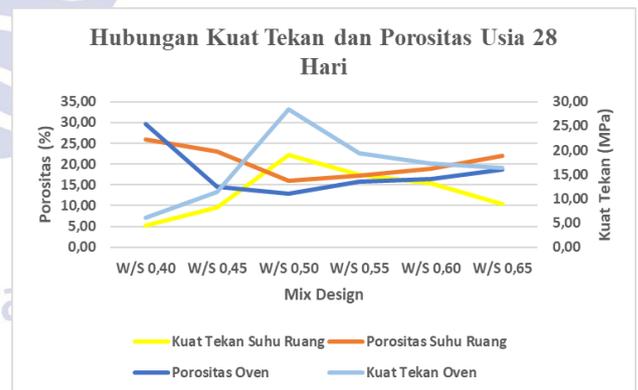
Dari **Tabel 5** dan **Gambar 3** menunjukkan pada kuat tekan optimum pada *mix design* 3 dan 9 dengan W/S 0,50 di kondisi suhu ruang memiliki nilai kuat tekan tertinggi sebesar 12,58 MPa, sedangkan memiliki nilai

porositas yang rendah sebesar 10,957%. Pada kondisi *heat curing* pun memiliki kuat tekan yang tinggi sebesar 32,17 MPa sedangkan nilai porositas yang rendah sebesar 14,736%. Berikut hubungan kuat tekan dan porositas pada usia benda uji 28 hari tertera pada **Tabel 6** dan **Gambar 4**.

Tabel 6 Hubungan Kuat Tekan dan Porositas Usia 28 Hari

Mix	Keterangan W/S	Kondisi	Kuat Tekan (MPa)	Porositas (%)
1	0,40	Suhu Ruang	5,28	25,98
2	0,45		9,61	22,98
3	0,50		22,31	16,09
4	0,55		17,38	17,31
5	0,60		15,34	18,89
6	0,65		10,36	21,92
7	0,40	Heat Curing	6,04	29,75
8	0,45		11,34	14,58
9	0,50		28,43	12,80
10	0,55		19,41	15,73
11	0,60		17,30	16,44
12	0,65		16,32	18,68

Sumber: Data Primer



Gambar 4 Grafik Hubungan Kuat Tekan dan Porositas Usia 28 Hari

Sumber: Data Primer

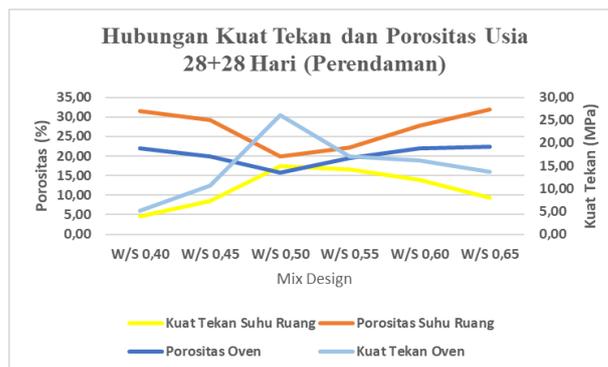
Dari **Tabel 6** dan **Gambar 4** menunjukkan pada kuat tekan optimum pada *mix design* 3 dan 9 dengan W/S 0,50 di kondisi suhu ruang memiliki nilai kuat tekan tertinggi sebesar 22,31 MPa, sedangkan memiliki nilai porositas yang rendah sebesar 16,092%. Pada kondisi *heat curing* pun memiliki kuat tekan yang tinggi sebesar 28,43 MPa sedangkan nilai porositas yang rendah sebesar 12,801%.

Berikut hubungan kuat tekan dan porositas pada usia benda uji 28 hari yang direndam pada larutan asam selama 28 hari tertera pada **Tabel 7** dan **Gambar 5**.

Tabel 7 Hubungan Kuat Tekan dan Porositas pada Perendaman Larutan Asam selama 28 Hari

Mix	Keterangan W/S	Kondisi	Kuat Tekan (MPa)	Porositas (%)
1	0,40	Suhu Ruang	4,54	31,55
2	0,45		8,51	29,18
3	0,50		17,41	19,81
4	0,55		16,68	22,14
5	0,60		13,95	27,72
6	0,65		9,37	31,85
7	0,40	Heat Curing	5,17	21,87
8	0,45		10,66	19,93
9	0,50		26,12	15,80
10	0,55		17,04	19,55
11	0,60		16,09	21,98
12	0,65		13,70	22,38

Sumber: Data Primer



Gambar 5 Grafik Hubungan Kuat Tekan dan Porositas pada Perendaman Larutan Asam selama 28 Hari

Sumber: Data Primer

Dari **Tabel 7** dan **Gambar 5** menunjukkan pada kuat tekan optimum pada *mix design* 3 dan 9 dengan W/S 0,50 di kondisi suhu ruang memiliki nilai kuat tekan tertinggi sebesar 17,41 MPa, sedangkan memiliki nilai porositas yang rendah sebesar 19,814%. Pada kondisi *heat curing* pun memiliki kuat tekan yang tinggi sebesar 26,12 MPa sedangkan nilai porositas yang rendah sebesar 15,795%.

Tabel 8 Hasil Uji Kuat Tekan dan Porositas Keseluruhan

Mix	Keterangan W/S	Kondisi	Kuat Tekan (MPa)			Porositas (%)		
			7 hari	28 hari	28+28* hari	7 hari	28 hari	28+28* hari
1	0,40	Suhu Ruang	4,87	5,28	4,54	30,84	25,98	31,55
2	0,45		11,82	9,61	8,51	22,62	22,98	29,18
3	0,50		12,58	22,31	17,41	10,96	16,09	19,81
4	0,55		7,67	17,38	16,68	19,74	17,31	22,14
5	0,60		6,77	15,34	13,95	26,63	18,89	27,72
6	0,65		4,18	10,36	9,37	28,75	21,92	31,85
7	0,40	Heat Curing	1,98	6,04	5,17	23,73	29,75	21,87
8	0,45		13,52	11,34	10,66	17,24	14,58	19,93
9	0,50		32,17	28,43	26,12	14,74	12,80	15,80
10	0,55		17,63	19,41	17,04	15,09	15,73	19,55
11	0,60		13,73	17,30	16,09	19,88	16,44	21,98
12	0,65		4,66	16,32	13,70	21,40	18,68	22,38

Sumber: Data Primer

Analisis yang bisa dilakukan pada hasil kuat tekan terhadap porositas seperti yang tertera di **Tabel 8** yaitu dimana semakin tinggi tingkat kepadatan pada mortar *geopolymer* maka semakin besar pula kuat tekannya namun presentase porositas akan semakin kecil. Korelasi yang didapat adalah presentase porositas akan mengalami penurunan apabila nilai kuat tekan mortar *geopolymer* mengalami peningkatan seiring bertambahnya usia benda uji. (Amir, dkk, 2018). Pada mortar *geopolymer* terdapat pori-pori yang apabila

semakin besar (*void ratio*) maka nilai porositas akan semakin besar dan kuat tekan akan semakin rendah kecil (Mahdiana, dkk, 2018)

Analisis Perbandingan Berat Per-Volume dan Kuat Tekan pada Kondisi Sebelum dan Sesudah Direndam dalam Larutan Asam

1. Berat Per-Volume

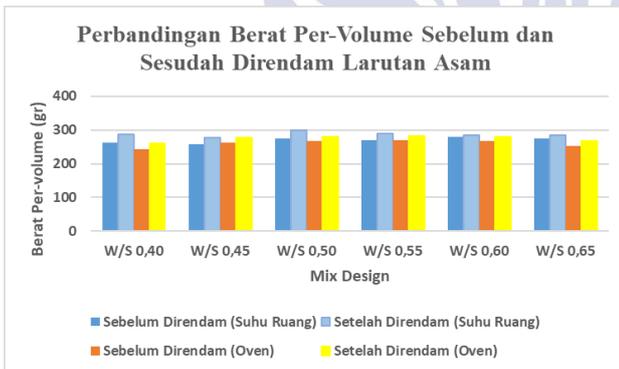
Adapun perbandingan berat per-volume mortar *geopolymer* di kondisi sebelum dan setelah

direndam larutan asam dapat dilihat pada **Tabel 9** dan **Gambar 6** berikut ini.

Tabel 9 Berat Per-Volume Sebelum dan Sesudah Direndam Larutan Asam

Mix	Keterangan W/S	Kondisi	Berat per-volume (gr)	
			28 hari	28+28* hari
1	0,40	Suhu Ruang	262	287
2	0,45		257	278
3	0,50		275	300
4	0,55		270	290
5	0,60		279	284
6	0,65		274	285
7	0,40	Heat Curing	242	260
8	0,45		261	277
9	0,50		267	279
10	0,55		269	282
11	0,60		268	280
12	0,65		253	268

Sumber: Data Primer



Gambar 6 Perbandingan Berat Per-Volume Sebelum dan Sesudah Direndam Larutan Asam

Sumber: Data Primer

Dari **Tabel 9** dan **Gambar 6** diperoleh hasil tiap variasi *mix design* mengalami peningkatan berat per-volume setelah direndam pada larutan asam dengan pH 2,0-3,0. Hal ini dikarenakan kandungan dalam larutan asam yang bahan penyusunnya terdiri atas asam sulfat, asam fulfat, asam humat dan air menyerap ke pori-pori mortar *geopolymer* hingga menyebabkan benda uji mengalami peningkatan dalam berat per-volumenya. Berat per-volume mortar *geopolymer* berbahan dasar *fly ash* tiap variasi *mix design* mengalami peningkatan sebesar 2%-10% setelah perendaman dalam larutan asam.

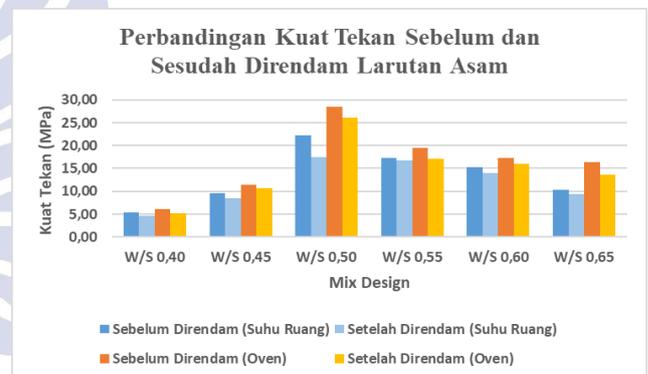
2. Kuat Tekan

Adapun perbandingan berat per-volume mortar *geopolymer* di kondisi sebelum dan setelah direndam larutan asam dapat dilihat pada **Tabel 10** dan **Gambar 7** berikut ini.

Tabel 10 Kuat Tekan Sebelum dan Sesudah Direndam Larutan Asam

Mix	Keterangan W/S	Kondisi	Kuat Tekan (MPa)	
			28 hari	28+28* hari
1	0,40	Suhu Ruang	5,28	4,54
2	0,45		9,61	8,51
3	0,50		22,31	17,41
4	0,55		17,38	16,68
5	0,60		15,34	13,95
6	0,65		10,36	9,37
7	0,40	Heat Curing	6,04	5,17
8	0,45		11,34	10,66
9	0,50		28,43	26,12
10	0,55		19,41	17,04
11	0,60		17,30	16,09
12	0,65		16,32	13,70

Sumber: Data Primer



Gambar 7 Perbandingan Kuat Tekan Sebelum dan Sesudah Direndam Larutan Asam

Sumber: Data Primer

Dari **Tabel 10** dan **Gambar 7** diperoleh hasil yaitu pada tiap variasi *mix design* mengalami penurunan kuat tekan setelah direndam pada larutan asam dengan pH 2,0-3,0. Mortar *geopolymer* berbahan dasar *fly ash* tiap variasi *mix design* mengalami penurunan kuat tekan sebesar 4% hingga 28% setelah direndam. Hal ini dikarenakan kandungan dalam larutan asam yang bahan penyusunnya terdiri atas asam sulfat, asam fulfat, dan asam humat menyerap ke pori-pori mortar *geopolymer* hingga menyebabkan benda uji mengalami penurunan dalam ketahanan kuat tekan. Nilai kuat tekan optimum setelah perendaman terdapat pada *mix design* 9 dengan W/S 0,50 sebesar 26,12 MPa.

Penurunan kuat tekan yang terjadi pada saat perendaman larutan asam disebabkan perpindahan ion-ion asam menuju ke dalam mortar *geopolymer* dimulai dari permukaan. Seiring dengan bertambahnya usia, ion-ion tersebut semakin meresap ke dalam mortar *geopolymer* sehingga

menyebabkan kerusakan pada benda uji (Litiloly, dkk, 2021). Penurunan ini disebabkan reaksi ion-ion sulfat dengan kalsium hidroksida dan menghasilkan gypsum yang kemudian bereaksi dengan C₃A dan menghasilkan ettringite yang sifatnya lepas (*loss*). Reaksi ini terjadi peningkatan berat volume yang menyebabkan terjadinya pengembangan dan pemisahan dari pasta disertai dengan tegangan-tegangan internal sehingga mengakibatkan retakan pada mortar *geopolymer*. Hal ini yang pada akhirnya mengurangi kepadatan mortar *geopolymer* sehingga mengurangi kuat tekan mortar *geopolymer* (Sri Sunarsih, 2017).

Komparasi dengan Penelitian Sebelumnya

Adapun penelitian lain dengan judul “Ketahanan Beton Geopolimer Berbasis *Fly Ash* Terhadap Sulfat dan Klorida) oleh Rafli Andaru Ikomudin, Berbaridius Herbudiman, dan Rulli Ranastra Irawan pada Tahun 2016. Penelitian tersebut melakukan pengujian kuat tekan pada mortar *geopolymer* dengan perawatan perendaman di larutan asam sulfat konsentrasi 10%. Hasil kuat tekan penelitian tersebut mengalami penurunan seiring bertambahnya usia. Hal ini mendukung dengan hasil penelitian yang telah dilakukan. Maka dengan hasil yang didapatkan dari penelitian ini masih berada pada kisaran penelitian terdahulu yang artinya penelitian ini dapat dilanjutkan untuk mendapatkan hasil yang lebih baik lagi.

Berikut perbandingan penelitian sebelumnya dengan saat ini disajikan dalam Tabel 11.

Tabel 11 Perbandingan Penelitian Saat Ini dengan Sebelumnya

Jenis Perawatan	Kuat Tekan (MPa)	
	7 hari	28 hari
Perendaman Larutan Asam Sulfat 10%	36,20	21,03
Perendaman Larutan Asam (Asam Sulfat, Asam Humat, Asam Sulfat, Asam Humat)	32,17	26,12

Sumber: Data Primer

PENUTUP

Simpulan

Dari hasil penelitian mortar *geopolymer* berbahan dasar *fly ash* dengan NaOH 12M terhadap kondisi normal dan kondisi perendaman larutan asam dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil uji kuat tekan *geopolymer* yang dilakukan perawatan dalam larutan asam dengan pH 2,0-3,0 mengalami penurunan sebesar 4% hingga 28%. Berbeda dengan perawatan di kondisi normal, nilai

kuat tekan mengalami peningkatan seiring bertambahnya usia benda uji.

2. Hasil uji porositas mortar *geopolymer* yang dilakukan perawatan dalam larutan asam dengan pH 2,0-3,0 dan di kondisi normal memiliki hasil yang sama. Dimana semakin besar nilai porositas pada mortar *geopolymer* maka semakin rendah nilai kuat tekannya. Sebaliknya, semakin rendah nilai porositas pada mortar *geopolymer* maka semakin tinggi nilai kuat tekannya.

Saran

Adapun penelitian yang telah dilakukan, terdapat saran untuk penelitian selanjutnya yaitu antara lain:

1. Saat pengadukan adonan mortar *geopolymer* dipastikan setiap bahan telah tercampur rata agar menghindari hasil keropos pada mortar *geopolymer*.
2. Saat pencetakan mortar *geopolymer* dengan tekstur berpasir pada cetakan dipastikan untuk melakukan pemadatan agar tidak rapuh atau hancur saat pembongkaran cetakan.
3. Pada pembacaan data kuat tekan harus dilakukan secara teliti. Perlu diperhatikan alat uji UTM (*Universal Testing Machine*) telah dikalibrasi sehingga mendapatkan hasil data yang akurat.
4. Saat pembuatan larutan asam serta pada saat peletakkan benda uji mortar *geopolymer* ke dalam larutan asam dipastikan menggunakan sarung tangan yang tahan terhadap reaksi keras kimia guna melindungi tangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Amir M.S., Kurniawan, Tata Arbain, 2021. *Efek Larutan Asam Terhadap Kuat Tekan Mortar Semen. STABILITA.* 9(3) 91-96.
- Amir M.S., Imran, Litiloly F. 2018. *Korelasi Porositas Beton Terhadap Kuat Tekan Rata-Rata. JTS.* 2(2) 57-63.
- Andaru R.I., Herbudiman B., Irawan R.R. 2016. *Ketahanan Beton Geopolimer Terhadap Sulfat dan Klorida. Reka Racana.* 2(4) 33-43.
- ASTM C270-10. 2010. *Standart Spesification for Motar for Unit Masonry.* 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 Test Method for Compressive Strengh of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in or 50-mm Cube Specimens).* ASTM International., West Conshohocken, PA.
- Guereca L.P., N. Torres, C.R.J. Lopez, 2015. *The CoProcessing of Municipal Waste in a Cement Kiln in Mexico, JPSL. Journal of Cleaner*

Production. Vol. 8 (2): 188-198.

Hardjito, 2005. *Studies on Fly Ash-Based Geopolymer Concrete*. Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Curtin University of Technology

Mahdiana, N. Arifi, E. & Nurlina, S. 2018. *Pengaruh Void Ratio dan Permeabilitas Beton Terhadap Kuat Tekan Beton Porous dengan Variasi RCA*. *Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil*, 1(1353-363).

Olivia Monita, 2015. *Geopolimer Sebagai Material Infrastruktur Berkelanjutan Di Lingkungan Gambut*. *Annual civil Engineering Seminar*. 251-256.

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

Sumajouw M.D.J dan Dapas S.O. 2013. *Elemen Struktur Beton Bertulang Geopolymer*. Penerbit Andi, Yogyakarta.

Sri Sunarsih E. 2017. *Tinjauan Penambahan Aditif Mineral Abu Terbang Terhadap Ketahanan Beton Pada Lingkungan Agresi Sulfat*. *Indonesian Journal Of Civil Engineering Seminar*. <https://doi.org/10.20961/ijcee.v1i2.19986>