

PENGARUH RASIO W/S TERHADAP MORTAR GEOPOLIMER BERBAHAN DASAR ABU TERBANG DAN NaOH 8 MOLAR PADA KONDISI LARUTAN ASAM DENGAN DERAJAT KEASAMAN (pH) 2,5 – 3,0

Adi Gunawan Satrio Nirmolo

Mahasiswa Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
e-mail: adi.18073@mhs.unesa.ac.id

Arie Wardhono

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

Abstrak

Abu terbang merupakan bahan alternatif pengganti semen portland yang mampu memberi dampak positif bagi lingkungan. Dengan menurunnya pemakaian semen portland dan beralih ke penggunaan abu terbang, maka gas emisi karbon dioksida yang dihasilkan dari produksi semen portland akan berkurang. Karena gas tersebut menguap ke udara dan mengakibatkan pemanasan global dan mengakibatkan industri semen menjadi salah satu penyumbang terbesar dalam sumber emisi polusi udara. Alternatif yang digunakan untuk pengganti semen portland yaitu abu terbang kelas F. Pemakaian abu terbang yaitu dengan mereaksi polimerisasi pada kandungan komponen alkali aktivator berupa sodium hidroksida 8 molar dan sodium silikat. Pada penelitian ini menggunakan metode eksperimen yang akan melakukan perawatan pada mortar geopolimer dengan perendaman pada larutan asam dengan kadar pH 2,5-3,0 untuk mengetahui ketahanan mortar geopolimer terhadap lingkungan korosif. Proses perawatan pada penelitian ini dengan dua kondisi yaitu perawatan pada suhu ruang dan di oven dengan suhu 100°C selama 24 jam. Pada penelitian ini menunjukkan bahwa hasil uji kuat tekan rata-rata tertinggi dihasilkan pada perawatan oven. Pada usia 7 hari kuat tekan diperoleh 23,93 MPa dan usia 28 hari diperoleh 23,68 MPa. Namun setelah dilakukan perendaman pada larutan asam nilai kuat tekan mortar geopolimer cenderung menurun. Hasil uji porositas rata-rata terendah dihasilkan pada perawatan oven. Pada usia 7 hari diperoleh 8,66% dan usia 28 hari diperoleh 12,75%.

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

Abstract

Fly ash is an alternative material to replace portland cement which can have a positive impact on the environment. By decreasing the use of portland cement and switching to the use of fly ash, the carbon dioxide emission gas produced from the production of portland cement will be reduced. Because the gas evaporates into the air and causes global warming and causes the cement industry to become one of the largest contributors to air pollution emission sources. The alternative used to replace portland cement is class F fly ash. The use of fly ash is by reacting polymerization on the content of alkaline activator components in the form of 8 molar sodium hydroxide and sodium silicate. In this study, an experimental method was used to treat geopolymer mortar by immersion in an acid solution with a pH level of 2.5-3.0 to determine the resistance of geopolymer mortar to corrosive environments. The treatment process in this study was carried out under two conditions, namely treatment at room temperature and in an oven at 100°C for 24 hours. In this study, it showed that the highest average compressive strength test results were obtained in oven treatment. At the age of 7 days the compressive strength was 23.93 MPa and at 28 days was 23.68 MPa. However, after immersion in an acid solution, the compressive strength of the geopolymer mortar tends to decrease. The lowest average porosity test results were obtained in oven treatment. At the age of 7 days obtained 8.66% and 28 days obtained 12.75%.

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

PENDAHULUAN

Semen Portland sebagai pengikat merupakan bahan yang paling penting digunakan dalam pembuatan beton konvensional. Dengan semakin pesatnya pembangunan infrastruktur di era sekarang menyebabkan kebutuhan akan material bangunan seperti Semen Portland meningkat drastis. Pada saat proses produksinya, semen Portland menghasilkan emisi karbon dioksida (CO_2) ke udara yang besarnya sebanding dengan jumlah semen yang diproduksi (Davidovits, 1991).

Para pakar teknologi beton dan bahan terus melakukan perkembangan dengan riset pengganti semen sebagai bahan utama dalam pembuatan beton dengan melakukan produksi berbahan dasar geopolimer. Geopolimer terbentuk dengan memanfaatkan ikatan kimia dari bahan alam non organik yang memiliki kandungan silika dan alumina tinggi, seperti *fly ash* (abu terbang).

Fly ash tidak bisa mengikat seperti semen sehingga *fly ash* membutuhkan aktivator sebagai bahan pengikat dan air yang dapat mengakibatkan reaksi ikatan geopolimer. Larutan aktivator yang digunakan pada umumnya menggunakan larutan Sodium Hidroksida (NaOH) 8M sampai 14M dan Sodium Silikat (Na_2SiO_3) dengan perbandingan antara 0,4 sampai 2,5 (Hardjito, 2005).

Struktur bangunan sangat sensitif terhadap lingkungan asam dalam jangka panjang karena pengaruh asam-asam organik dan non organik yang terdapat pada senyawa asam. Uji kuat tekan pada beton geopolimer dengan perendaman pada larutan asam sulfat dengan konsentrasi tertentu mengakibatkan penurunan hasil kuat tekan seiring bertambahnya usia perendaman.

Pada penelitian ini, peneliti menggunakan mortar geopolimer yang berfokus pada pengaruh substitusi abu terbang (*fly ash*) terhadap kuat tekan dan porositas mortar geopolimer pada lingkungan korosif dengan NaOH 8 Molar dengan perawatan suhu 100°C selama 24 jam. Perawatan geopolimer membutuhkan suhu tinggi agar mampu mempercepat aktivitas polimerisasi yang terjadi selama proses pengerasan (Wardhono et al. 2012).

Selain perawatan mortar geopolimer dengan metode *heat curing*, pada penelitian ini juga terdapat perawatan mortar geopolimer dengan cara merendam mortar geopolimer pada larutan kondisi asam dengan pH antara 2,5-3,0 menggunakan bahan tambah yang telah ditentukan.

METODE

Metode penelitian ini menggunakan metode eksperimen, yang dilaksanakan di Laboratorium Bahan dan Beton Teknik Sipil Universitas Negeri Surabaya. Mengenai rancangan penelitian akan diuraikan sebagai berikut:

Persiapan Alat dan Bahan

Sebelum penelitian dilaksanakan, dilakukan persiapan terlebih dahulu yaitu mempersiapkan alat dan bahan yang dibutuhkan. Bahan yang digunakan adalah *fly ash* tipe F, Agregat halus, air suling, Sodium Hidroksida 8 Molar, dan Sodium Silikat

Uji Bahan

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

1. *Fly ash*

Pengujian yang dilakukan bertujuan guna mengetahui kandungan kimia *fly ash*. Metode pengujian yang digunakan untuk uji kandungan kimia yaitu uji XRF (*X-ray Fluorescence*)

2. Pasir

Pengujian pasir yang dilaksanakan mengacu pada SNI 03-4428-1997 yang meliputi uji berat jenis pasir, uji penyerapan air, uji kadar lumpur yang terkandung dalam pasir, dan uji gradasi pasir.

Pembuatan *Mix design* Benda Uji

Pada penelitian ini *mix design* yang direncanakan mengacu pada ASTM C579-01 dengan modifikasi. Maka dari itu dilakukan perhitungan *mix design* untuk mendapatkan rasio dan kebutuhan bahan yang direncanakan dengan variasi rasio *fly ash*, agregat halus (pasir) dan sodium silikat dan sodium hidroksida (NaOH 8M) untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kuat tekan dan porositas.

Setelah dilakukan perhitungan takaran bahan sesuai terhadap rasio rencana, maka selanjutnya dilakukan pembuatan benda uji. Rencana *mix design* dapat dilihat pada

Tabel 1 berikut.

Tabel 1 *Mix design* Mortar Geopolimer 8 Molar

Mix	Mix design				
	Pasir	FA	NaOH	Na_2SiO_3	Air
1	2.75	1	0.249	0.374	0.05
2	2.75	1	0.295	0.442	0.05
3	2.75	1	0.345	0.517	0.05
4	2.75	1	0.398	0.597	0.05
5	2.75	1	0.457	0.685	0.05
6	2.75	1	0.520	0.780	0.05
7	2.75	1	0.249	0.374	0.05
8	2.75	1	0.295	0.442	0.05
9	2.75	1	0.345	0.517	0.05
10	2.75	1	0.398	0.597	0.05
11	2.75	1	0.457	0.685	0.05
12	2.75	1	0.52	0.780	0.05

Sumber: Hasil Perhitungan

Perawatan Benda Uji

Proses perawatan benda uji dilakukan pada dua kondisi dengan menggunakan *heat curing* 100°C selama

24 jam dan dalam kondisi normal temperature (suhu ruang). Setelah dilakukan perawatan pada dua kondisi tersebut, mortar geopolimer selanjutnya direndam pada larutan asam dengan kadar pH 2,5-3,0

Bahan-bahan yang dibutuhkan untuk pembuatan larutan asam kadar pH 2,5-3,0 ialah asam sulfat, asam fulfat, asam humat, dan air suling. Dilakukan perhitungan untuk mengetahui rasio dan kebutuhan bahan yang akan digunakan. Rencana *mix design* pembuatan larutan asam tertera pada **Tabel 2** berikut.

Tabel 2 Kebutuhan Bahan Penyusun Larutan Asam

Bahan	Rasio (%)	Berat (gr)
Asam Humat	0,49	196
Asam Fulfat	0,49	196
Asam Sulfat	0,003	12
Air Suling	0,90	39600

Sumber : Data Perhitungan

Pengujian Benda Uji

Penelitian ini menerapkan 2 jenis pengujian pada benda uji antara lain:

1. Uji Kuat Tekan

Tahap Pengujian kuat tekan dilakukan pada saat benda uji berumur 7 dan 28 hari pada kondisi normal, lalu dilakukan pengujian kembali setelah perendaman benda uji pada larutan asam selama 28 hari. Pengujian dilaksanakan di Laboratorium Bahan dan Beton Teknik Sipil Universitas Negeri Surabaya dengan menggunakan alat uji *Universal Testing Machine* WE-600B, 360V. Sampel benda uji diuji sebanyak 3 buah dari tiap variasi *mix design*.

2. Uji Porositas

Tahap pengujian porositas terhadap benda uji juga sama, dilaksanakan pada saat sampel benda uji berumur 7 dan 28 hari di kondisi normal, lalu dilakukan pengujian kembali setelah perendaman benda uji pada larutan asam selama 28 hari. Pengujian porositas dilaksanakan di Laboratorium Bahan dan Beton Teknik Sipil Universitas Negeri Surabaya dengan merendam benda uji selama 24 jam dalam air lalu menimbang berat benda uji tersebut, lalu dikeringkan dengan oven pada suhu 100°C selama 24 jam setelah itu ditimbang kembali.

Pada pengujian porositas sampel tiap umur rencana diwakili 2 buah benda uji dari tiap variasi *mix design*.

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:

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

Analisis Data

Analisis data berguna untuk mengetahui pengaruh penggunaan *fly ash* pada lingkungan korosif yang dikondisikan dengan larutan asam

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Uji Kuat Tekan

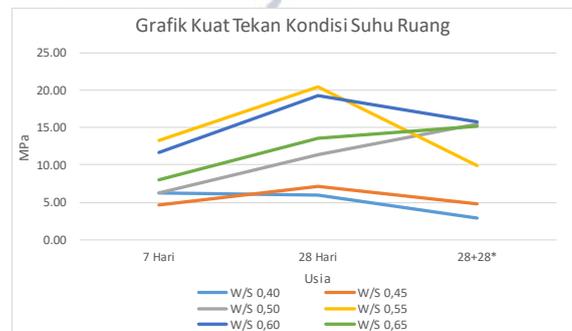
Hasil uji kuat tekan mortar geopolimer dilakukan pada usia 7 dan usia 28 hari pada kondisi suhu ruang dan *heat curing* serta pengujian setelah direndam larutan asam selama 28 hari. Hasil uji tekan tertera pada **Tabel 3** berikut.

Tabel 3 Hasil Uji Kuat Tekan Mortar

Mix	Keterangan	Kondisi	Uji Kuat Tekan (MPa)		
			7 Hari	28 Hari	28+28*
1	W/S 0,40	Suhu Ruang	6.27	6.03	2.90
2	W/S 0,45		4.69	7.10	4.73
3	W/S 0,50		6.28	11.33	15.57
4	W/S 0,55		13.25	20.45	9.93
5	W/S 0,60		11.68	19.26	15.82
6	W/S 0,65		8.03	13.54	15.16
7	W/S 0,40	Oven	6.28	5.60	5.64
8	W/S 0,45		6.48	5.28	5.13
9	W/S 0,50		15.17	12.45	6.72
10	W/S 0,55		23.93	23.68	15.72
11	W/S 0,60		18.88	20.78	16.08
12	W/S 0,65		12.48	16.06	8.68

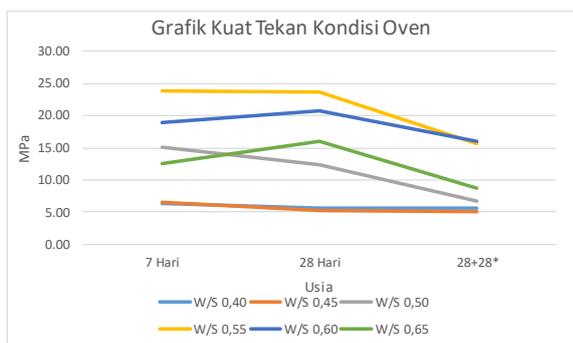
Sumber: Data Primer

Dari **Tabel 3** diatas memperlihatkan bahwa hasil uji kuat tekan usia 7 dan 28 hari pada kondisi suhu ruang dan *heat curing* serta pengujian setelah proses direndam pada larutan asam selama 28 hari menyatakan bahwa hasil kuat tekan cenderung semakin tinggi seiring bertambahnya usia benda uji Hasil uji kuat dapat dilihat lebih detail dalam grafik dibawah ini:



Gambar 1 Grafik Uji Kuat Tekan pada Kondisi Suhu Ruang

Sumber: Data Primer



Gambar 2 Grafik Uji Kuat Tekan pada Kondisi Oven

Sumber: Data Primer

Pada Perawatan dengan suhu ruang seiring bertambahnya usia sampel benda uji mortar geopolimer, nilai kuat tekan pada tiap *mix design* mengalami peningkatan. Hal ini terlihat ketika benda uji diuji pada usia 7 hari dan 28 hari, hasil uji tiap *mix design* dengan perawatan suhu ruang mengalami peningkatan, kecuali pada *mix design* 1 dengan W/S 0,40 yang mengalami penurunan. Pada usia 7 hari memiliki nilai kuat tekan sebesar 6,27 MPa, namun pada usia 28 hari nilainya turun menjadi 6,03 MPa. Hasil berbeda diperoleh dari *mix design* dengan perawatan *heat curing*, seiring bertambahnya usia nilai kuat tekannya cenderung mengalami penurunan. Hanya pada *mix design* 11 dengan W/S 0,60 dan *mix design* 12 dengan W/S 0,65 yang mengalami peningkatan nilai kuat tekan. Pada usia 7 hari *mix design* 11 memiliki nilai kuat tekan sebesar 18,88 MPa dan *mix design* 12 dengan nilai sebesar 12,48 MPa dan pada usia 28 hari mengalami peningkatan, untuk *mix design* 11 nilai kuat tekannya meningkat menjadi 20,78 MPa dan *mix design* 12 meningkat menjadi 16,06 MPa. Sedangkan pada *mix design* 7 sampai 10 dengan perawatan *heat curing* nilai kuat tekan mengalami penurunan seiring bertambahnya usia benda uji mortar geopolimer. Perawatan dengan merendam benda uji pada larutan asam selama 28 hari mengakibatkan nilai kuat tekan cenderung mengalami penurunan, hanya *mix design* 3 dengan W/S 0,50 dan *mix design* 6 dengan W/S 0,65 saja yang mengalami peningkatan. Pada usia sampel benda usia 28 hari *mix design* 3 memiliki nilai kuat tekan sebesar 11,33 MPa dan mengalami peningkatan setelah direndam larutan asam dengan nilai sebesar 15,57 MPa dan *mix design* 6 memiliki nilai kuat tekan sebesar 13,54 MPa dan mengalami peningkatan menjadi 15,56 MPa. Nilai kuat tekan tiap *mix design* cenderung menurun setelah direndam pada larutan asam disebabkan oleh kandungan asam sulfat yang mengganggu proses pengikatan antara *fly ash* dengan larutan aktivator, sehingga terjadi penggerusan pada mortar geopolimer yang menjadikan benda uji sedikit rapuh.

Hasil Uji Porositas

Hasil uji porositas mortar geopolimer dilaksanakan pada usia 7 dan usia 28 hari pada kondisi suhu ruang dan *heat curing* serta pengujian setelah direndam larutan asam selama 28 hari. Berikut hasil uji tekan dapat dilihat pada **Tabel 4** berikut ini.

Tabel 4 Hasil Uji Porositas

Mix	Keterangan	Kondisi	Uji Porositas (%)		
			7 Hari	28 Hari	28+28*
1	W/S 0,40	Suhu Ruang	30,07	25,77	27,22
2	W/S 0,45		27,61	24,27	29,16
3	W/S 0,50		23,66	17,27	20,29
4	W/S 0,55		17,29	17,16	24,23
5	W/S 0,60		18,48	17,49	23,24
6	W/S 0,65		21,46	22,39	22,11
7	W/S 0,40	Oven	25,66	23,54	27,43
8	W/S 0,45		21,92	24,28	28,22
9	W/S 0,50		18,98	19,82	23,58
10	W/S 0,55		8,66	12,75	17,95
11	W/S 0,60		11,42	17,45	17,66
12	W/S 0,65		22,98	20,29	22,15

Sumber: Data Primer

Berdasarkan **Tabel 4** diatas, menunjukkan bahwa hasil porositas pada *mix design* 1 dan 7 dengan W/S 0,40 diikuti dengan *mix design* 2 dan 8 dengan W/S 0,45 memiliki nilai porositas yang tinggi. Nilai porositas terendah terdapat pada *mix design* 10 yang memiliki nilai kuat tekan optimum pada penelitian ini. Pada perawatan suhu ruang nilai porositas tiap *mix design* cenderung turun seiring bertambahnya usia benda uji, kecuali *mix design* 6 yang mengalami peningkatan dimana pada usia 7 hari nilai porositasnya sebesar 21,46% dan pada usia 28 hari nilai nya 22,39%. Pada perawatan *heat curing*, nilai porositas tiap *mix design* cenderung mengalami peningkatan, kecuali *mix design* 7 dengan W/S 0,40 dan *mix design* 12 dengan W/S 0,65 yang mengalami penurunan.

Hasil Uji Vikat

Pada penelitian ini dilakukan uji setting time atau uji vikat terhadap 6 *mix design*. Hasil yang diperoleh dari pengujian vikat tiap *mix design* untuk waktu pengikatan awal dan pengikatan akhir selengkapnya akan disajikan pada tabel berikut ini.

1. W/S 0,40

Tabel 5 Uji Vikat W/S 0,40

Waktu	Penurunan Jarum
Menit	cm
0	4
15	4
30	4
45	4
60	2.75
75	1.95
90	0.7
105	0.2
120	0

Sumber: Data Primer

Pada **Tabel 5** diatas memperlihatkan waktu ikat awal pasta geopolimer (*initial setting time*) di menit ke 60 dan waktu ikat akhir (*final setting time*) kurang dari 480 menit yaitu 120 menit.

2. W/S 0,45

Tabel 6 Uji Vikat 0,45

Waktu	Penurunan Jarum
Menit	cm
0	4
15	4
30	4
45	4
60	4
75	4
90	4
105	4
120	1.6
135	1.4
150	0.8
165	0.35
180	0

Sumber: Data Primer

Pada **Tabel 6** diatas memperlihatkan waktu ikat awal pasta geopolimer (*initial setting time*) lebih dari 60 menit yaitu 120 menit dan waktu ikat akhir (*final setting time*) kurang dari 480 menit yaitu 180 menit.

3. W/S 0,50

Tabel 7 Uji Vikat 0,50

Waktu	Penurunan Jarum
Menit	cm
0	4
195	4
210	3.2
225	2.9
240	2.4
255	1.8
270	0.9
285	0.8
300	0.7
315	0.4
330	0.3
345	0.3
360	0.3
375	0.2
390	0.1
405	0.1
420	0

Sumber: Data Primer

Pada **Tabel 4.27** diatas memperlihatkan waktu ikat awal pasta geopolimer (*initial setting time*) lebih dari 60 menit yaitu 210 menit dan waktu ikat akhir (*final setting time*) kurang dari 480 menit yaitu 420 menit.

4. W/S 0,55

Tabel 8 Uji Vikat 0,55

Waktu	Penurunan Jarum	Waktu	Penurunan Jarum
Menit	cm	Menit	cm
0	4	600	2.4
15	4	615	2.4
30	4	630	2.2
45	4	645	2
60	4	660	1.9
...	4	675	1.8
390	4	690	1.6
405	3.7	705	1.5
420	3.7	720	1.5
435	3.5	735	1.4
450	3.5	750	1.2
465	3.5	765	1
480	3.2	780	0.7
495	3.2	795	0.7
510	3.2	810	0.4
525	3.2	825	0.4
540	2.6	840	0.2
555	2.6	855	0.2
570	2.6	870	0
585	2.5	885	0

Sumber: Data Primer

Pada **Tabel 8** diatas memperlihatkan waktu ikat awal pasta geopolimer (*initial setting time*) lebih dari 60 menit yaitu 405 menit dan waktu ikat akhir (*final setting time*) lebih dari 480 menit yaitu 870 menit.

5. W/S 0,60

Tabel 9 Uji Vikat 0,60

Waktu	Penurunan Jarum	Waktu	Penurunan Jarum
Menit	cm	Menit	cm
0	4	1125	2.1
15	4	1140	2
30	4	1155	1.9
45	4	1170	1.7
60	4	1185	1.6
...	4	1200	1.6
855	4	1215	1.4
870	3.8	1230	1.4
885	3.8	1245	1.3
900	3.8	1260	1.3
915	3.5	1275	1.2
930	3.5	1290	1.2
945	3.5	1305	1.2
960	3.5	1320	1
975	3.2	1335	1
990	3	1350	0.7
1005	2.9	1365	0.7
1020	2.9	1380	0.6
1035	2.8	1395	0.6
1050	2.7	1410	0.4
1065	2.6	1425	0.3
1080	2.5	1440	0.3
1095	2.5	1455	0.2
1110	2.3	1470	0

Sumber: Data Primer

Pada **Tabel 9** diatas memperlihatkan waktu ikat awal pasta geopolimer (*initial setting time*) lebih dari 60 menit yaitu 855 menit dan waktu ikat akhir (*final setting time*) lebih dari 480 menit yaitu 1470 menit.

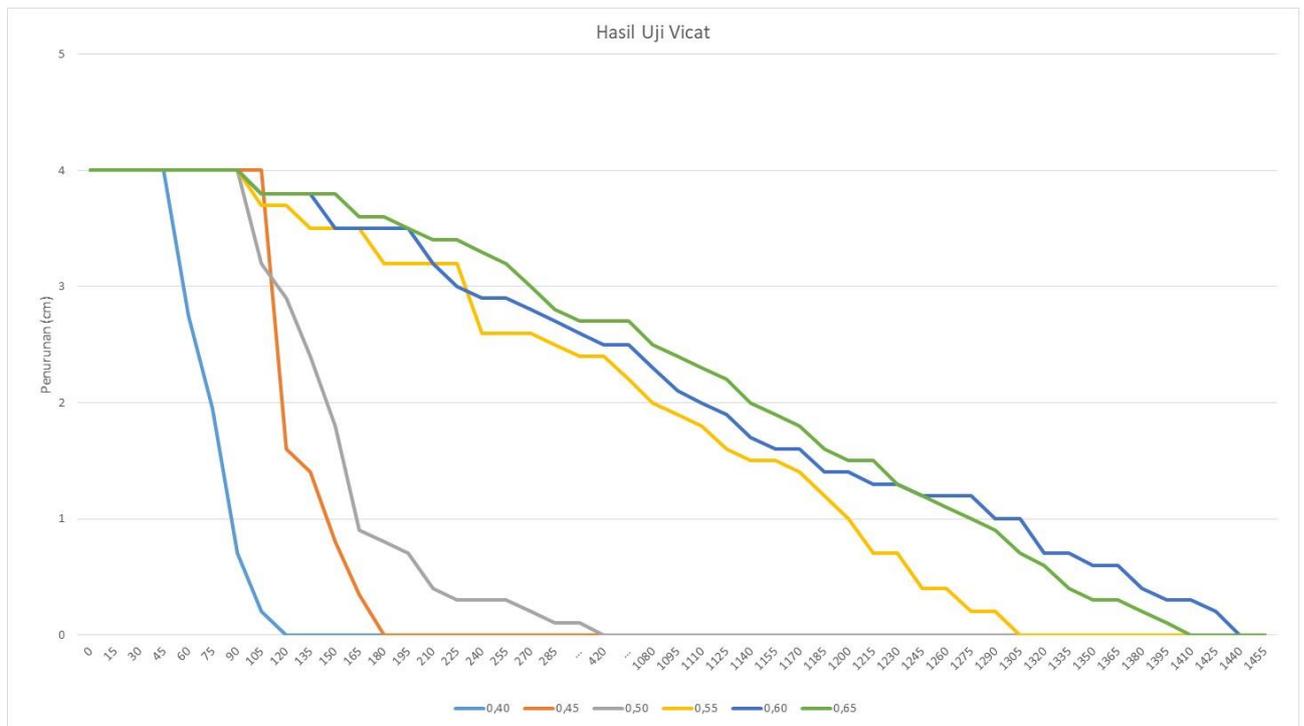
6. W/S 0,65

Tabel 10 Uji Vikat 0,65

Waktu	Penurunan Jarum	Waktu	Penurunan Jarum
Menit	cm	Menit	cm
0	4	1335	2.5
15	4	1350	2.4
30	4	1365	2.3
45	4	1380	2.2
60	4	1395	2
...	4	1410	1.9
1080	4	1425	1.8
1095	3.8	1440	1.6
1110	3.8	1455	1.5
1125	3.8	1470	1.5
1140	3.8	1485	1.3
1155	3.6	1500	1.2
1170	3.6	1515	1.1
1185	3.5	1530	1
1200	3.4	1545	0.9
1215	3.4	1560	0.7
1230	3.3	1575	0.6
1245	3.2	1590	0.4
1260	3	1605	0.3
1275	2.8	1620	0.3
1290	2.7	1635	0.2
1305	2.7	1650	0.1
1320	2.7	1665	0

Sumber: Data Primer

Pada **Tabel 10** diatas memperlihatkan waktu ikat awal pasta geopolimer (*initial setting time*) lebih dari 60 menit yaitu 1080 menit dan waktu ikat akhir (*final setting time*) lebih dari 480 menit yaitu 1665 menit. Berikut merupakan grafik rekapitulasi hasil uji vikat .



Gambar 3 Grafik Uji Vicat

Pada **Gambar 3** diatas, terdapat perbedaan waktu pengikatan dari setiap *mix design*, lama pengikatan pada *mix design* 1 dengan W/S 0,40 terjadi pada menit ke 120, *mix design* 2 dengan W/S 0,45 terjadi pada menit ke 180, *mix design* 3 dengan W/S 0,50 terjadi pada menit 420, *mix design* 4 dengan W/S 0,55 terjadi pada menit 870, *mix design* 5 dengan W/S 0,60 terjadi pada menit 1470, dan *mix design* 6 dengan W/S 0,65 terjadi pada menit 1665.

Pembahasan

Pada penelitian ini terfokus pada hasil uji kuat tekan, yang mana kuat tekan merupakan besarnya beban maksimum yang menyebabkan benda uji hancur ketika diberi gaya tekan tertentu. Maka dilakukan analisa hubungan kuat tekan terhadap porositas, kuat tekan terhadap berat benda uji sebelum dan sesudah direndam pada larutan asam akan ditunjukkan dalam bentuk tabel dan grafik.

Analisa Hubungan Kuat Tekan dan Porositas

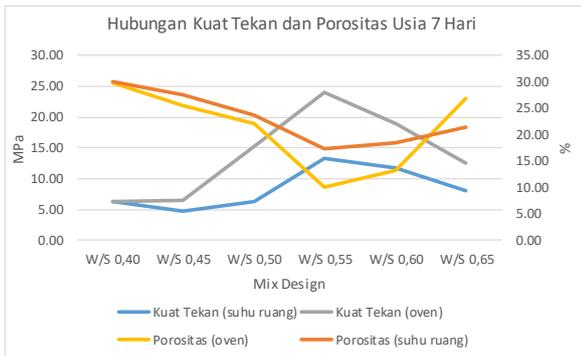
Pada penelitian ini dilakukan pengujian porositas dan kuat tekan terhadap 12 *mix design* dengan usia 7 dan 28 hari pada kondisi suhu ruang dan *heat curing* serta pengujian setelah direndam larutan asam selaman 28 hari

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

Tabel 11 Hubungan Kuat Tekan dan Porositas Usia 7 Hari

Mix	Keterangan	Kondisi	Uji Kuat Tekan (MPa)	Uji Porositas (%)
			7 Hari	7 Hari
1	W/S 0,40	Suhu Ruang	6.27	30.07
2	W/S 0,45		4.69	27.61
3	W/S 0,50		6.28	23.66
4	W/S 0,55		13.25	17.29
5	W/S 0,60		11.68	18.48
6	W/S 0,65		8.03	21.46
7	W/S 0,40	Oven	6.28	25.66
8	W/S 0,45		6.48	21.92
9	W/S 0,50		15.17	18.98
10	W/S 0,55		23.93	8.66
11	W/S 0,60		18.88	11.42
12	W/S 0,65		12.48	22.98

Sumber: Data Primer



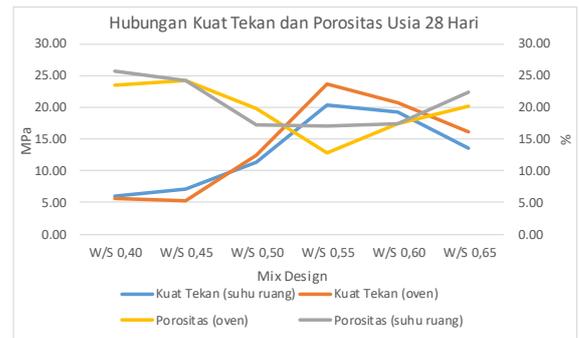
Gambar 4 Grafik Hubungan Kuat Tekan dan Porositas Usia 7 hari
 Sumber: Data Primer

Dari **Tabel 11** dan **Gambar 4** diatas menunjukkan kuat tekan optimum terjadi pada *mix design* 4 dan 10 dengan W/S 0,55. Pada kondisi suhu ruang, *mix design* 4 memiliki nilai kuat tekan tertinggi sebesar 13,25 Mpa dan memiliki nilai porositas terkecil dengan nilai porositas 17,29 MPa. Pada kondisi *heat curing*, *mix design* 10 memiliki nilai kuat tekan sebesar 23,93 MPa dan porositas sebesar 8,66%. Berikut hubungan kuat tekan dan porositas benda uji pada usia 28 hari yang tertera pada **Tabel 12** dan **Gambar 5**.

Tabel 12 Hubungan Kuat Tekan dan Porositas Usia 28 Hari

Mix	Keterangan	Kondisi	Uji Kuat Tekan (MPa)	Uji Porositas (%)
			28 Hari	28 Hari
1	W/S 0,40	Suhu Ruang	6.03	25.77
2	W/S 0,45		7.10	24.27
3	W/S 0,50		11.33	17.27
4	W/S 0,55		20.45	17.16
5	W/S 0,60		19.26	17.49
6	W/S 0,65		13.54	22.39
7	W/S 0,40	Oven	5.60	23.54
8	W/S 0,45		5.28	24.28
9	W/S 0,50		12.45	19.82
10	W/S 0,55		23.68	12.75
11	W/S 0,60		20.78	17.45
12	W/S 0,65		16.06	20.29

Sumber: Data Primer



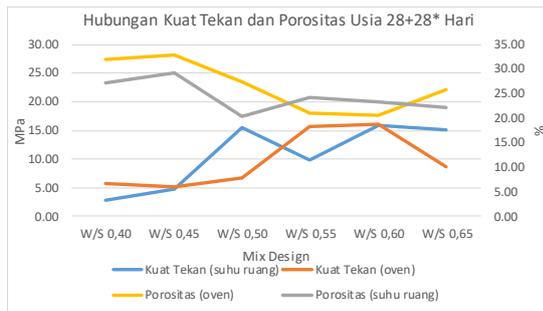
Gambar 5 Grafik Hubungan Kuat Tekan dan Porositas Usia 28 Hari
 Sumber: Data Primer

Dari **Tabel 12** dan **Gambar 5** diatas menunjukkan nilai kuat tekan optimum terjadi pada *mix design* 4 dan 10 dengan W/S 0,55. Pada . Pada kondisi suhu ruang, *mix design* 4 memiliki nilai kuat tekan tertinggi sebesar 20,45 Mpa dan memiliki nilai porositas yang kecil dengan nilai porositas 17,16 MPa. Pada kondisi *heat curing*, *mix design* 10 memiliki nilai kuat tekan sebesar 23,68 MPa dan porositas sebesar 12,75%. Berikut hubungan kuat tekan dan porositas benda uji pada usia 28 hari yang direndam pada larutan asam selama 28 hari yang tertera pada **Tabel 13** dan **Gambar 6**.

Tabel 13 Hubungan Kuat Tekan dan Porositas Usia 28 Hari Setelah Direndam pada Larutan Asam

Mix	Keterangan	Kondisi	Uji Kuat Tekan (MPa)	Uji Porositas (%)
			28+28*	28+28*
1	W/S 0,40	Suhu Ruang	2.90	27.22
2	W/S 0,45		4.73	29.16
3	W/S 0,50		15.57	20.29
4	W/S 0,55		9.93	24.23
5	W/S 0,60		15.82	23.24
6	W/S 0,65		15.16	22.11
7	W/S 0,40	Oven	5.64	27.43
8	W/S 0,45		5.13	28.22
9	W/S 0,50		6.72	23.58
10	W/S 0,55		15.72	17.95
11	W/S 0,60		16.08	17.66
12	W/S 0,65		8.68	22.15

Sumber: Data Primer



Gambar 6 Grafik Hubungan Kuat Tekan dan Porositas Usia 28 Hari Setelah Direndam pada Larutan Asam
Sumber: Data Primer

Dari **Tabel 13** dan **Gambar 6** diatas menunjukkan nilai kuat tekan optimum terjadi pada *mix design* 4 dan 10 dengan W/S 0,55. Pada . Pada kondisi suhu ruang, *mix design* 4 memiliki nilai kuat tekan tertinggi sebesar 20,45 Mpa dan memiliki nilai porositas yang kecil dengan nilai porositas 17,16 MPa. Pada kondisi *heat curing*, *mix design* 10 memiliki nilai kuat tekan sebesar 23,68 MPa dan porositas sebesar 12,75%.

Analisis yang didapatkan dari hubungan antara hasil kuat tekan terhadap porositas akan semakin kecil. Persentase porositas benda uji akan mengalami penurunan ketika nilai kuat tekan benda uji mortar geopolimer mengalami peningkatan seiring bertambahnya usia benda uji.

Analisis Perbandingan Berat Benda Uji dan Kuat Tekan pada Kondisi Sebelum dan Sesudah Direndam dalam Larutan Asam

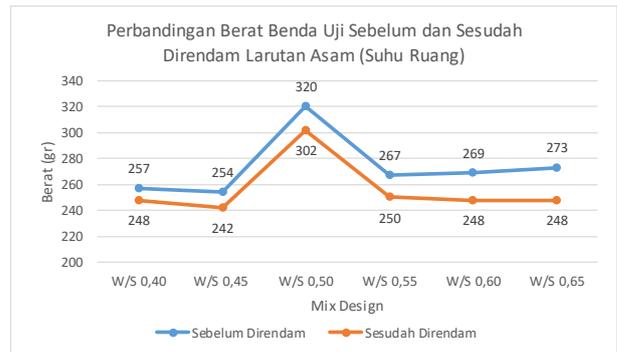
1. Berat Benda Uji

Hasil perbandingan berat benda uji mortar geopolimer pada kondisi sebelum dan sesudah direndam pada larutan asam dapat dilihat pada **Tabel 14** serta **Gambar 7** dan **Gambar 8** dibawah ini.

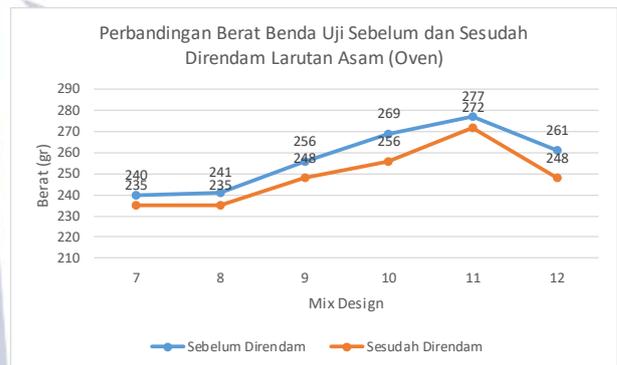
Tabel 14 Berat Benda Uji Sebelum dan Sesudah Direndam pada Larutan Asam

Mix Design	Keterangan	Kondisi	Berat (gr)	
			28 Hari	28 + 28* Hari
1	W/S 0,40	Suhu Ruang	257	248
2	W/S 0,45		254	242
3	W/S 0,50		320	302
4	W/S 0,55		267	250
5	W/S 0,60		269	248
6	W/S 0,65		273	248
7	W/S 0,40	Oven	240	235
8	W/S 0,45		241	235
9	W/S 0,50		256	248
10	W/S 0,55		269	256
11	W/S 0,60		277	272
12	W/S 0,65		261	248

Sumber: Data Primer



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

Dari **Tabel 14** serta **Gambar 7** dan **Gambar 8** diperoleh hasil dari tiap variasi *mix design* mengalami penurunan berat pada benda uji setelah direndam pada larutan asam dengan pH 2,5-3,0. Hal ini dipengaruhi oleh kandungan dalam larutan asam yang bahan penyusunnya terdiri dari asam sulfat, asam humat, dan asam fulfat bersifat korosif yang menyerap ke dalam pori-pori mortar geopolimer sehingga menyebabkan rusaknya ikatan-ikatan polimerisasi pada benda uji yang mengakibatkan benda uji rapuh sehingga berat yang dimiliki pada benda uji mengalami penurunan di setiap *mix design* setelah dilakukan perendaman pada larutan asam dengan kadar pH 2,5-3,0

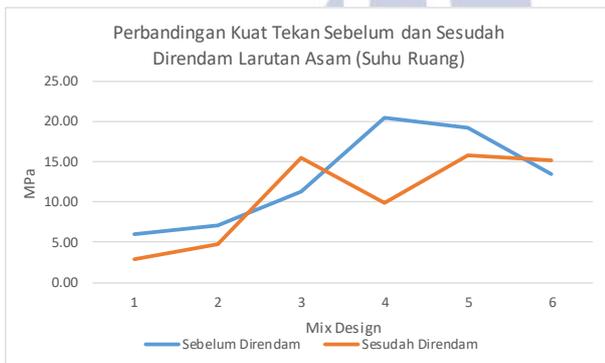
2. Kuat Tekan

Adapun perbandingan hasil kuat tekan mortar geopolimer pada kondisi sebelum dan sesudah direndam pada larutan asam dapat dilihat pada **Tabel 16** serta **Gambar 9** dan **Gambar 10** dibawah ini.

Tabel 15 Hasil Kuat Tekan Sebelum dan Sesudah Direndam pada Larutan Asam

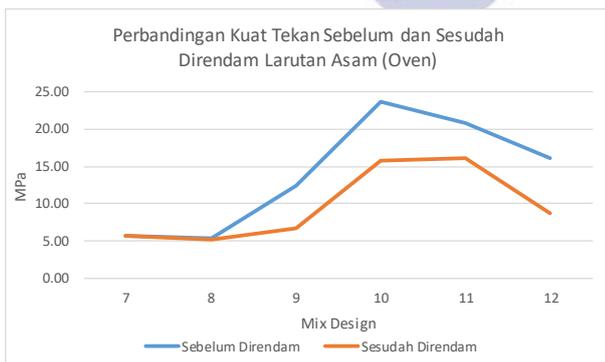
Mix	Keterangan	Kondisi	Uji Kuat Tekan (MPa)	
			28 Hari	28+28*
1	W/S 0,40	Suhu Ruang	6.03	2.90
2	W/S 0,45		7.10	4.73
3	W/S 0,50		11.33	15.57
4	W/S 0,55		20.45	9.93
5	W/S 0,60		19.26	15.82
6	W/S 0,65		13.54	15.16
7	W/S 0,40	Oven	5.60	5.64
8	W/S 0,45		5.28	5.13
9	W/S 0,50		12.45	6.72
10	W/S 0,55		23.68	15.72
11	W/S 0,60		20.78	16.08
12	W/S 0,65		16.06	8.68

Sumber: Data Primer



Gambar 9 Perbandingan Kuat Tekan Sebelum dan Sesudah Direndam Larutan Asam (Suhu Ruang)

Sumber: Data Primer



Gambar 10 Perbandingan Kuat Tekan Sebelum dan Sesudah Direndam Larutan Asam (Oven)

Sumber: Data Primer

Dari **Tabel 15** serta **Gambar 9** dan **Gambar 10** diperoleh hasil yakni tiap variasi *mix design* mengalami penurunan nilai kuat tekan setelah direndam pada larutan asam dengan kadar pH 2,5-3,0. Kecuali pada *mix design* 3 dengan W/S 0,50 yang mengalami peningkatan nilai kuat tekan. Nilai kuat tekan mengalami penurunan setelah direndam pada larutan asam dikarenakan

kandungan yang dimiliki oleh larutan asam yang bahan penyusunnya terdiri dari asam fulfat, asam humat, dan asam sulfat yang bersifat korosif menyerap ke pori-pori mortar geopolimer sehingga menyebabkan benda uji mengalami penurunan terhadap ketahanan kuat tekan.

Penurunan kuat tekan yang terjadi pada saat perendaman pada larutan asam dikarenakan penyerapan kandungan yang dimiliki larutan asam menuju kedalam mortar geopolimer dimulai dari permukaan. Seiring dengan bertambahnya usia, kandungan pada larutan asam tersebut semakin meresap dan melekat ke dalam mortar geopolimer sehingga menyebabkan kerusakan pada benda uji (Amir Sultan et al., n.d.)

Adapun penelitian lain (Remigildus Cornelis dan Iwan Rustendi, 2021) yang melakukan pengujian kuat tekan pada beton geopolimer dengan perawatan perendaman pada larutan asam sulfat dengan konsentrasi 10%. Hasil kuat tekan pada penelitian tersebut mengalami penurunan seiring bertambahnya usia perendaman. Maka dengan hasil yang didapat dari penelitian ini masih berada pada kisaran penelitian terdahulu yang artinya penelitian ini dapat dipergunakan untuk mendapatkan hasil yang lebih baik.

PENUTUP

Simpulan

Dari hasil penelitian mortar geopolimer berbahan dasar *fly ash* kelas F dengan NaOH 8 Molar terhadap kondisi normal dan kondisi perendaman larutan asam dengan pH 2,5-3,0 dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil uji kuat tekan mortar geopolimer yang dilakukan perawatan pada larutan asam dengan pH 2,5-3,0 mengalami penurunan yang signifikan. Berbeda dengan hasil uji kuat tekan pada kondisi normal, nilai kuat tekannya mengalami peningkatan seiring benda uji bertambah usia.
2. Hasil uji porositas mortar geopolimer yang dilakukan perawatan pada larutan asam dengan pH 2,5-3,0 dan pada kondisi normal memiliki hasil yang sama. Dimana semakin rendah persentase porositas pada geopolimer maka semakin tinggi nilai kuat tekannya. Sebaliknya, semakin tinggi persentase porositas maka semakin rendah nilai kuat tekannya
3. Berat benda uji pada tiap variasi *mix design* mengalami penurunan dikarenakan terjadinya kerusakan ikatan-ikatan polimerisasi yang menyebabkan mortar geopolimer menjadi rapuh

Saran

Bersumber pada penelitian yang telah dilakukan, terdapat saran untuk penelitian lanjut antara lain:

1. Saat pembuatan cairan aktivator alkali harap berhati-hati, karena cairan tersebut dapat menimbulkan panas, dan gatal saat terkena kulit.
2. Saat pengadukan adonan mortar geopolimer pastikan setiap bahan tercampur dengan rata sehingga menghindari terjadi penggumpalan.
3. Pada pembacaan data kuat tekan sepatutnya dilakukan dengan teliti, perhatikan juga alat uji UTM (*Universal Testing Machine*) telah dikalibrasi sehingga dapat menampilkan data yang lebih akurat.
4. Saat pembuatan larutan asam serta pada saat memasukkan benda uji mortar geopolimer ke dalam larutan asam dipastikan menggunakan sarung tangan yang tahan terhadap reaksi kimia guna melindungi tangan.

Beton Terhadap Kuat Tekan Rata-Rata. JTS. Vol. 2, No. 2, pp. 57-63.

Andaru R.I., Herbudiman B., Irawan R.R. 2016. *Ketahanan Beton Geopolimer Terhadap Sulfat dan Klorida*. Reka Racana. Vol. 2, No. 4, pp. 33-43.

DAFTAR PUSTAKA

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 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

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

SNI 03-6827-2002. *Metode pengujian waktu ikat awal semen portland dengan menggunakan alat vicat untuk pekerjaan sipil*. 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. Vol. 1, No. 1, pp 1-7.

Cornelis, R, dkk., 2021. *Studi Ketahanan Beton Geopolimer Berbasis Fly ash Terhadap Asam Sulfat*. Vol. 22, No. 2, pp. 95-101.

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

Amir M.S., Imran Littiloly F. 2018. *Korelasi Porositas*