

Pengaruh Substitusi Kapur Pada Mortar Geopolimer Berbasis *Fly Ash* Dan Abu Sekam Padi Dengan NaOH 8 Molar

*Diah Ayu Febriyanti, Arie Wardhono

*Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, Jln. Ketintang Surabaya.

*)diahayu.21012@mhs.unesa.ac.id

Abstract

Cement is an essential material in construction. However, it is considered environmentally unfriendly due to its negative impact on the environment, as cement production generates CO₂ emissions. Geopolymer mortar offers a viable solution as it is produced without using cement. Geopolymer mortar is made from fly ash and rice husk ash (RHA). Fly ash and RHA act as binders when mixed with an 8M NaOH activator solution. Several studies indicate that the calcium oxide (CaO) content in fly ash and rice husk ash (RHA) can influence the strength of mortar. The CaO content in fly ash reaches 22.9%, while in RHA, it is about 1.40%. Lime is used in geopolymer mortar production as a stabilizing agent. This research aims to investigate the effect of lime on the compressive strength and porosity of geopolymer mortar based on fly ash and RHA. The ratio of sodium silicate (SS) to sodium hydroxide (SH) is 1:3. The lime ratios used in the study are 0%, 1%, 2.5%, 5%, and 7.5%. The research results indicate that a 1% lime substitution at 28 days has the highest compressive strength after the control (0%), which is 6.37 MPa, with a porosity of 18.72%.

Keywords: Mortar, Geopolymer, Fly Ash, Compressive Strength, Porosity

Abstrak

Semen merupakan material yang penting saat melakukan pembangunan. Tetapi semen dianggap tidak ramah lingkungan karena berdampak negatif terhadap lingkungan, karena pembuatan semen menghasilkan gas CO₂. Mortar geopolimer adalah solusi yang dapat diambil karena dalam pembuatannya tidak menggunakan semen. Mortar geopolimer dibuat menggunakan *fly ash* dan abu sekam padi atau *rice husk ash* (RHA). *Fly ash* dan RHA akan berguna sebagai bahan pengikat setelah dicampurkan dengan larutan aktivator NaOH 8M. Sejumlah penelitian mengindikasikan bahwa kandungan kalsium oksida (CaO) dalam *fly ash* dan abu sekam padi (RHA) dapat mempengaruhi kekuatan mortar. Kadar CaO pada *fly ash* mencapai 22,9%, sedangkan kandungan CaO pada RHA yaitu sekitar 1,40%. Kapur dalam pembuatan mortar geopolimer berguna sebagai bahan stabilisasi. Penelitian mortar geopolimer ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kapur pada mortar geopolimer berbasis *fly ash* dan RHA terhadap kuat tekan dan porositas. Benda uji berbentuk kubus ukuran 5x5x5 cm³. Perbandingan antara sodium silikat (SS) dan sodium hidroksida (SH) adalah 1:3. Rasio kapur yang digunakan dalam penelitian adalah 0%, 1%, 2,5%, 5%, dan 7,5%. Hasil penelitian mengindikasikan bahwa substitusi kapur sebesar 1% pada usia 28 hari memiliki kuat tekan tertinggi setelah kontrol (0%), yaitu sebesar 6,37 MPa, dengan porositas sebesar 18,72%.

Kata Kunci: Mortar, Geopolimer, Fly Ash, Kuat Tekan, Porositas

PENDAHULUAN

Di era globalisasi saat ini, perkembangan infrastruktur terus meningkat sejalan dengan kemajuan zaman dan teknologi. Selain itu perkembangan dan inovasi juga terjadi pada bidang material konstruksi di Indonesia, salah satunya yaitu inovasi bahan campuran pembuatan mortar. Hal itu mengakibatkan permintaan material konstruksi seperti semen portland dan agregat semakin meningkat. Semen portland merupakan salah satu material yang paling penting dan dibutuhkan saat melakukan pembangunan. Akan tetapi semen portland dianggap tidak ramah lingkungan karena memiliki beberapa dampak negatif yang dapat merusak lingkungan, karena pembuatan semen menyumbang gas rumah kaca melalui produksi karbon dioksida. Industri semen portland menyumbang sekitar 5 sampai 7% dari total emisi CO₂ secara global (UN Environment, 2019).

Saat ini banyak dilakukan penelitian mengenai bahan pembuatan mortar yang lebih ramah lingkungan, salah satu alternatif yang mulai mendapatkan perhatian yaitu mortar geopolimer. Semen menjadi faktor utama dalam pembuatan mortar, karena semen berfungsi sebagai bahan pengikat material seperti agregat karena mampu mengisi ruang antar agregat (O.K. Putra & Alfanti, 2022).

Mortar yang dibuat dengan menggunakan campuran limbah industri dan material alam disebut dengan mortar geopolimer. Berarti dengan arti lain mortar geopolimer adalah campuran mortar dimana penggunaan bahan pengikat seperti semen portland diganti oleh bahan yang lain seperti *fly ash* dan abu sekam padi. *Fly ash* adalah residu yang dihasilkan dari pembakaran batu bara di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU).

Mortar geopolimer adalah material aluminosilikat anorganik yang dihasilkan melalui sintesis bahan-bahan limbah seperti abu terbang (*fly ash*) dan abu sekam padi (*rice husk ash*), yang banyak akan kandungan silika dan aluminium. Bahan utama untuk membuat mortar geopolimer meliputi campuran silika (SiO₂) dan aluminium (Al₂O₃), air suling (Aqua DM), serta bahan kimia pengikat seperti sodium hidroksida (NaOH) dan sodium silikat (SiO₂). Untuk membuat mortar geopolimer, hanya diperlukan suhu sekitar 25°C (suhu ruang) dan didiamkan selama 24 jam. Sebaliknya, pembuatan semen memerlukan suhu yang jauh lebih tinggi, yaitu sekitar 800°C hingga 1400°C.

Penelitian mortar geopolimer dengan perbandingan NaOH : Kapur sebesar 1 : 2,7 menghasilkan kuat tekan maksimum yaitu sebesar 12,40 MPa pada usia 14 hari (Muis, 2023). Pada penelitian mortar geopolimer yang

lain dengan perbandingan abu sekam padi dan kapur sebesar 70 : 30 menghasilkan kekuatan tekan maksimum sebesar 2,19 MPa pada usia mortar 28 hari (Widyananto et.al., 2017).

METODE

Metode pendekatan eksperimental digunakan dalam penelitian ini. Proses pembuatan benda uji mengikuti acuan dari SNI 03-6813-2002. Data yang didapatkan berasal dari hasil pengujian laboratorium untuk selanjutnya diolah untuk mendapatkan kesimpulan tentang substitusi kapur pada mortar geopolimer berbasis *fly ash* dan abu sekam padi sebagai pengikat dengan NaOH 8 Molar. Benda uji yang digunakan pada penelitian ini yaitu menggunakan benda uji berbentuk kubus ukuran 5x5x5 cm³ dengan rasio kapur 0% (kontrol), 1%, 2,5%, 5%, 7,5%.

Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui beberapa tahapan, antara lain :

1. Tahap Persiapan

Mempersiapkan alat-alat dan material yang akan digunakan untuk membuat benda uji. Mulai dari alat yang digunakan seperti wadah *mix*, pengaduk atau spatula, *moulding*, palu karet, alat penumbuk mortar, dan lain sebagainya. Kemudian untuk material yang digunakan meliputi *fly ash*, abu sekam padi, kapur, pasir lumajang, sodium hidroksida (NaOH), Sodium Silikat, dan Aqua DM.

2. Tahap Pengujian Material

Tahapan pengujian material pada penelitian ini antara lain sebagai berikut :

- Pasir, meliputi : Uji gradasi pasir, uji berat volume, uji berat jenis, uji penyerapan air pada pasir.
- Fly ash*, meliputi : Uji berat volume, uji berat jenis, uji XRF.
- Abu sekam padi, meliputi : Uji berat volume, uji berat jenis, uji XRF.
- Kapur, meliputi : Uji berat volume, uji berat jenis.
- Sodium Silikat, meliputi : Uji berat jenis.
- Sodium Hidroksida, meliputi : Uji berat jenis.

3. Tahap Pembuatan Benda Uji

a. Larutan Aktivator

Salah satu larutan aktivator yang digunakan yaitu larutan NaOH 8 Molar, oleh karena itu sebelum pelaksanaan *trial mix design* perlu dibuat terlebih dahulu larutan NaOH 8 Molar. Cara pembuatan larutan NaOH 8 Molar yaitu, yang pertama adalah memperhitungkan kebutuhan 1 liter NaOH 8 Molar yang dihitung dengan persamaan berikut :

$$n = M \times V \quad (1)$$

$$\begin{aligned} M &= 8 \text{ Mol/liter} \\ V &= 1 \text{ liter} \\ n &= M \times V \\ &= 8 \text{ Mol/liter} \times 1 \text{ liter} \\ &= 8 \text{ Molar} \end{aligned}$$

NaOH = 40 (Na = 23, O = 16, dan H = 1, angka tersebut diperoleh dari tabel periodik)

$$\text{Massa NaOH} = n \text{ Molar} \times \text{NaOH} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{Massa NaOH} &= n \text{ Molar} \times \text{NaOH} \\ &= 8 \text{ Molar} \times 40 \\ &= 320 \text{ gram} \end{aligned}$$

Selanjutnya yaitu timbang kristal NaOH sebanyak 320 gram, kemudian campurkan kristal NaOH tersebut dengan 1 liter aqua DM ke dalam bejana dan aduk. setelah itu biarkan larutan NaOH dingin, sebab saat pencampuran terjadi reaksi panas.

b. Kebutuhan Material

Material yang diperlukan untuk membuat 5 variasi *mix design* mortar geopolimer sebagai berikut :

Tabel 1. Kebutuhan Material

Mix	Keterangan	FA	RHA	KPR	Pasir	SH	SS	Air
1	Mix 1 KPR 0	0,8	0,2	0	2,75	0,130	0,390	0,395
2	Mix 2 KPR 1	0,8	0,2	0,01	2,75	0,130	0,390	0,395
3	Mix 3 KPR 2	0,8	0,2	0,025	2,75	0,130	0,390	0,395
4	Mix 4 KPR 5	0,8	0,2	0,05	2,75	0,130	0,390	0,395
5	Mix 5 KPR 7	0,8	0,2	0,075	2,75	0,130	0,390	0,395

Sumber: Hasil Pengolahan data (2024)

Keterangan :

FA : *Fly Ash* (Abu Terbang)
RHA : *Rice Husk Ash* (Abu Sekam Padi)
KPR : Kapur
SH : Sodium Hidroksida
SS : Sodium Silikat

c. Pembuatan Mortar

Tahapan pembuatan mortar geopolimer antara lain sebagai berikut :

- Timbang semua material untuk membuat benda uji mortar geopolimer;
- Campurkan larutan aktivator dan aqua DM ke dalam bejana kemudian aduk selama 4 menit;
- Campurkan larutan tersebut dengan *fly ash* yang sudah disiapkan dalam wadah *mix* kemudian aduk selama 2 menit;
- Campurkan abu sekam padi kemudian aduk lagi selama 2 menit;
- Masukkan kapur yang sebelumnya sudah dicairkan dengan aqua DM selama 1 menit;
- Masukkan pasir kedalam campuran kemudian aduk kembali selama 2 menit sampai tercampur merata dan tidak ada yang menggumpal;
- Lakukan tes *workability* pada campuran mortar untuk mengetahui tingkat kemudahan pembuatan mortar;
- Cetak campuran mortar ke dalam cetakan berbentuk kubus ukuran 5 x 5 x 5 cm³ dan lakukan pemadatan agar mortar memiliki bentuk yang baik dan tidak mudah hancur;

4. Pengujian Mortar

a. Uji Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan mortar geopolimer dilakukan pada saat mortar berumur 7 hari, 14 hari, dan 28 hari dengan menggunakan alat kuat tekan *Universal Testing Machine* (UTM).

b. Uji Porositas

Tahapan pengujian porositas mortar geopolimer antara lain :

- 1) Timbang dan ukur benda uji menggunakan jangka sorong;
- 2) Rendam benda uji yang sudah diukur selama 24 jam, perendaman dilakukan 1 hari sebelum hari pengujian tiba;
- 3) Timbang mortar setelah diangkat dari perendaman;
- 4) Selanjutnya timbang mortar di dalam air;
- 5) Mortar didiamkan sebentar kurang lebih selama 15 menit untuk mendapatkan mortar keadaan kering permukaan (SSD) dan kemudian timbang;
- 6) Mortar dikeringkan ke dalam oven selama 24 jam dan kemudian ditimbang kembali;
- 7) Setelah didapatkan berat mortar dalam air, berat mortar kondisi SSD, dan berat kering oven, kemudian porositas mortar dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut ;

$$n = \frac{C-A}{C-D} \times 100\% \quad (3)$$

c. Uji Vicat

Berikut adalah tahapan pengujian vicat :

- 1) Campurkan material pembuatan pasta *mix design* tanpa menggunakan pasir. Langkahnya sama seperti pembuatan benda uji tetapi tanpa memasukkan pasir ke dalam campuran;
- 2) Pasta dimasukkan ke dalam wadah plastik dan dipastikan permukaannya rata;
- 3) Letakkan wadah plastik tersebut pada alat vicat lalu lepaskan jarum dan tunggu penurunannya selama 30 detik;
- 4) Catat hasil penurunan jarum vicat setelah itu angkat kembali jarum dan bersihkan menggunakan lap agar sisa pasta tidak menempel dan mengurangi hasil penetrasi;
- 5) Tunggu kembali selama 15 menit kemudian uji lagi penurunan jarum dan tunggu selama 30 detik;
- 6) Lakukan secara berulang hingga penurunan jarumnya 0 mm atau pasta mengeras.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian

1. Hasil Pengujian Material

a. Pasir

Pasir yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir lumajang. Hasil dari beberapa pengujian pasir sudah disesuaikan dengan acuan ASTM. Gradasi pasir yang

dipakai pada penelitian ini disesuaikan dengan SNI 03-1968-1990 :

Tabel 2. Hasil Uji Gradasi Pasir

No.	Ayakan mm	Berat	Persentase		
			Tertahan	Tertahan Kumulatif	Lolos Kumulatif
4	4,8	0,9	0,90%	0,90%	99,10%
8	2,4	6,3	6,30%	7,20%	92,80%
16	1,2	26,4	26,40%	33,60%	66,40%
30	0,6	15,9	15,90%	49,50%	50,50%
50	0,3	23,6	23,60%	73,10%	26,90%
100	0,15	17,5	17,50%	90,60%	9,40%
Pan	0	9,4	9,40%	100,00%	0,00%
Jumlah		100	100%	354,90%	345,10%

Sumber: Hasil Pengolahan data (2024)

Berdasarkan tabel hasil uji gradasi pasir diketahui Fineness Modulus (FM) pasir adalah 3,549%.

Berikut adalah tabel hasil uji karakteristik pasir lumajang :

Tabel 3. Hasil Uji Karakteristik Pasir Lumajang

No.	Uraian	Pasir Lumajang	Standart ASTM
1	Gradasi Pasir	Zona 3, FM = 3,459	FM = 1,5-3,80
2	Berat Jenis	2,517 gram/cm ³	1,6 – 3,2 gram/cm ³
3	Berat Volume	1,699 Kg/L	1,6 – 1,9 Kg/L
4	Penyerapan Air	1,68%	<5%

Sumber: Hasil Pengolahan data (2024)

b. Fly Ash

Fly ash merupakan residu hasil pembakaran dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang dibeli dari Kota Malang. Hasil pengujian *fly ash* sudah disesuaikan berdasarkan acuan ASTM. Berikut tabel hasil uji karakteristik *fly ash* :

Tabel 4. Hasil Uji Karakteristik *Fly Ash*

No.	Uraian	Pasir Lumajang	Standart ASTM
1	Berat Jenis	2,631 gram/cm ³	1,6 – 3,2 gram/cm ³
2	Berat Volume	1,458 Kg/L	-

Sumber: Hasil Pengolahan data (2024)

Selain kedua uji tersebut, *fly ash* yang akan digunakan juga sudah diuji XRF. Uji XRF *fly ash* ini dilakukan di Laboratorium Universitas Negeri Malang untuk mengetahui kadar mineral yang ada pada *fly ash* yang akan digunakan pada penelitian ini. Berikut adalah hasil pengujian XRF *fly ash* :

Tabel 5. Hasil Uji XRF *Fly Ash*

Komponen	Persentase (%)
Fe ₂ O ₃	33,80%
SiO ₂	26,60%
CaO	22,90%
Al ₂ O ₃	10,00%
K ₂ O	1,52%
TiO ₂	1,34%
MoO ₃	1,00%

Berdasarkan Tabel 4 kandungan CaO pada *fly ash* yaitu sebesar 22,90% yang artinya *fly ash* tersebut tergolong ke dalam *fly ash* tipe C.

c. Abu Sekam Padi

Abu sekam padi yang dipakai dalam penelitian ini diambil dari sisa pembakaran sekam padi yang berasal salah satu tempat produksi batu bata dari Kota Ponorogo. Hasil beberapa pengujian abu sekam padi sudah disesuaikan dengan acuan ASTM. Berikut adalah hasil uji karakteristik abu sekam padi :

Tabel 6. Hasil Uji Karakteristik Abu Sekam Padi

No.	Uraian	Pasir Lumajang	Standart ASTM
1	Berat Jenis	2,00 gram/cm ³	1,6 – 3,2 gram/cm ³
2	Berat Volume	0,263 Kg/L	-

Sumber: Hasil Pengolahan data (2024)

Selain kedua uji tersebut abu sekam padi yang akan digunakan juga sudah diuji XRF. Uji XRF abu sekam padi ini diteliti di Laboratorium Universitas Negeri Malang. Berikut merupakan hasil uji XRF abu sekam padi :

Tabel 7. Hasil Uji XRF Abu Sekam Padi

Komponen	Persentase (%)
SiO ₂	92,1%
K ₂ O	5,65%
CaO	1,40%
Fe ₂ O ₃	0,447%

d. Kapur

Kapur yang digunakan pada penelitian ini merupakan jenis kapur tohor. Kapur tohor untuk penelitian ini dibeli dari salah satu toko material yang ada di Kecamatan Waru Kota Sidoarjo. Hasil beberapa pengujian kapur sudah disesuaikan dengan acuan ASTM. Berikut merupakan hasil uji karakteristik kapur tohor :

Tabel 8. Hasil Uji Karakteristik Kapur

No.	Uraian	Kapur	Standart ASTM
1	Berat Jenis	1,923 gram/cm ³	1,6 – 3,2 gram/cm ³
2	Berat Volume	0,466 Kg/L	-

Sumber: Hasil Pengolahan data (2024)

e. Sodium Silikat

Sodium silikat yang digunakan dalam penelitian ini dibeli dari salah satu toko bahan kimia yang ada di Kota Surabaya bernama Bratachem kimia. Hasil pengujian sodium silikat yang sudah dihitung berdasarkan rumus standar uji berat jenis yaitu sebesar 1,508 gram/cm³.

f. Sodium Hidroksida

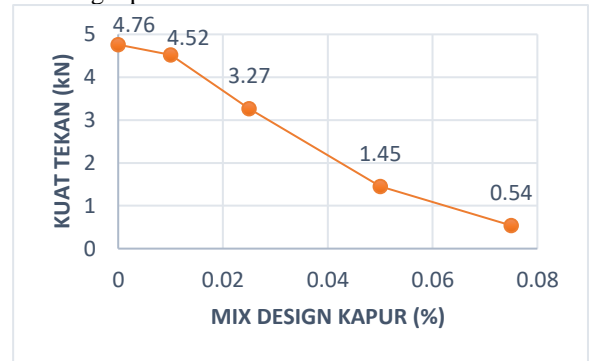
Sodium silikat yang digunakan dalam penelitian ini dibeli dari salah satu toko bahan kimia yang ada di Kota Surabaya bernama Bratachem kimia. Hasil pengujian sodium silikat yang sudah dihitung

berdasarkan rumus standar uji berat jenis yaitu sebesar 1,204 gram/cm³.

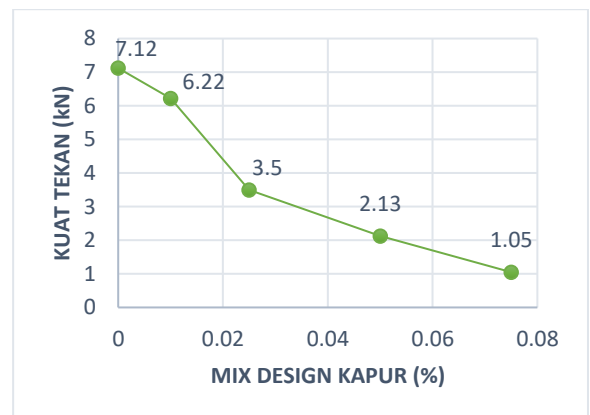
2. Hasil Pengujian Mortar Geopolimer

a. Kuat Tekan

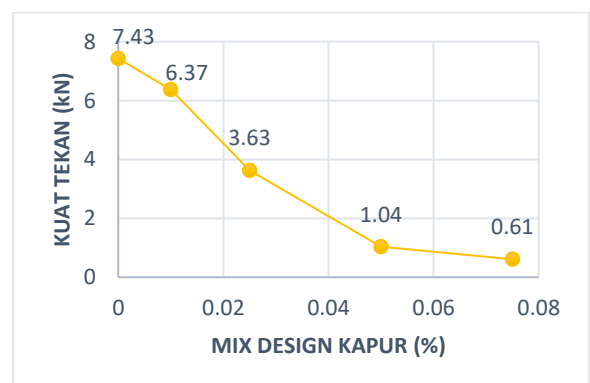
Pengujian kuat tekan mortar geopolimer berbentuk kubus dapat digunakan untuk menentukan tingkat kualitas atau mutu dari mortar itu sendiri. Uji kuat tekan ini dilakukan pada usia mortar 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. Berikut adalah hasil grafik kuat tekan mortar geopolimer berdasarkan usia mortar :



Gambar 1. Grafik Kuat Tekan Usia 7 Hari
Sumber : Hasil Pengolahan Data



Gambar 2. Grafik Kuat Tekan Usia 14 Hari
Sumber : Hasil Pengolahan Data



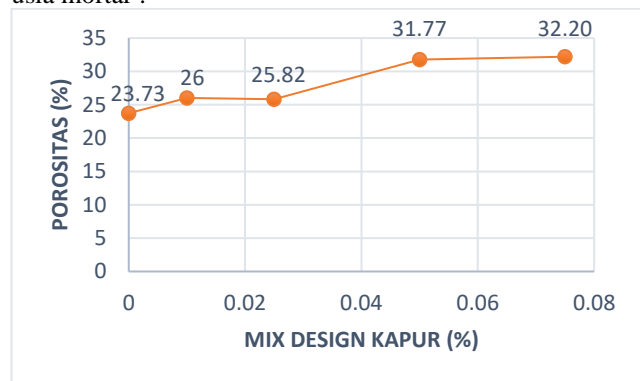
Gambar 3. Grafik Kuat Tekan Usia 28 Hari
Sumber : Hasil Pengolahan Data

Berdasarkan grafik kuat tekan mortar usia 7 hari, 14 hari dan 28 hari, kuat tekan mortar tertinggi terjadi pada *mix design* dengan 0% kapur dan akan menurun ketika

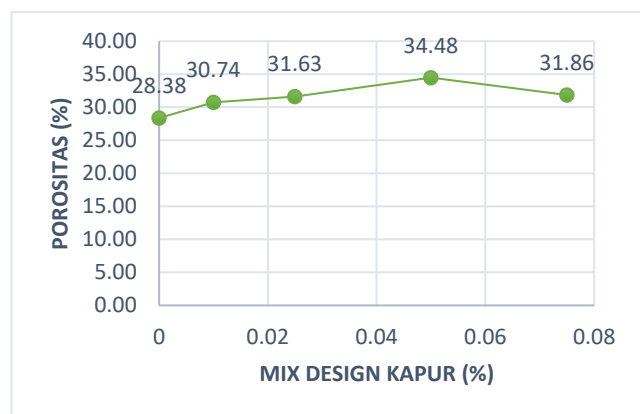
terdapat penambahan persentase kapur. Untuk kuat tekan paling baik setelah ditambahkan kapur terdapat pada *mix design* 2 yaitu dengan persentase kapur 1%.

b. Porositas

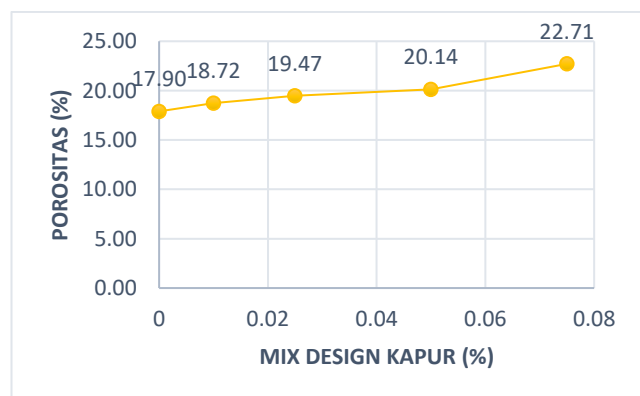
Uji porositas memiliki tujuan untuk mengetahui seberapa besar angka pori pada mortar. Persentase pori yang lebih tinggi cenderung berbanding terbalik dengan kekuatan tekan beton, yaitu semakin besar angka pori, semakin rendah nilai kuat tekannya. Pengujian porositas pada mortar juga dilakukan saat mortar berusia 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. Berikut adalah grafik porositas mortar berdasarkan usia mortar :



Gambar 4. Grafik Porositas Usia 7 Hari
Sumber : Hasil Pengolahan Data



Gambar 5. Grafik Porositas Usia 14 Hari
Sumber : Hasil Pengolahan Data



Gambar 6. Grafik Porositas Usia 28 Hari
Sumber : Hasil Pengolahan Data

Berdasarkan grafik porositas mortar usia 28 hari, tingkat porositas paling tinggi terdapat pada *mix design* dengan rasio kapur 7,5%.

Berdasarkan ketiga grafik porositas diatas, tingkat porositas mortar usia 7, 14, dan 28 hari mengalami kenaikan dan penurunan.

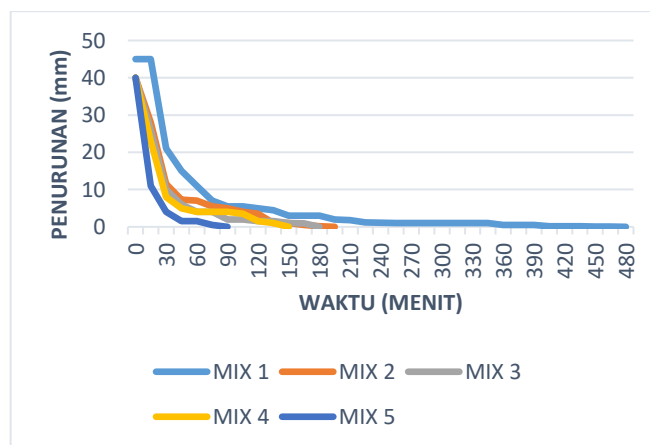
c. Uji Vicat

Tujuan dari uji ikatan awal, yang juga dikenal sebagai uji vicat, adalah untuk memastikan seberapa cepat mortar memulai proses pengikatan. Alat uji berupa jarum vicat digunakan untuk melakukan uji vicat. Penempatan pasta mortar diletakkan pada *cup* plastik berbentuk kotak dengan ketinggian kotak 4 cm. Berikut adalah tabel hasil uji vicat pada campuran pasta mortar geopolimer :

Tabel 9. Hasil Uji Vicat

Waktu (menit)	Penurunan (mm)				
	Mix 1 Kapur 0%	Mix 2 Kapur 1%	Mix 3 Kapur 2,5%	Mix 4 Kapur 5%	Mix 5 Kapur 7,5%
0	45	40	40	40	40
15	45	28	26	23	11
30	21	11,5	10	8	4
45	15	7,3	6	5	1,5
60	11	7	4	4	1,5
75	7	5,5	4	4	0,5
90	5,5	5	2	4	0
105	5,5	4	2	3,5	
120	5	3,5	1,5	1,5	
135	4,5	1	1,5	1	
150	3	1	1	0	
165	3	0,5	0,9		
180	3	0,2	0		
195	2	0			
210	1,8				
225	1,2				
240	1,1				
255	1				
270	1				
285	1				
300	1				
315	1				
330	1				
345	1				
360	0,5				
375	0,5				
390	0,5				
405	0,2				
420	0,2				
435	0,2				
450	0,1				
465	0,1				
480	0				

Sumber : Hasil Pengolahan Data



Gambar 7. Grafik Uji Vicat
Sumber : Hasil Pengolahan Data

Hasil tes vicat menunjukkan bahwa substitusi kapur mempengaruhi waktu pengikatan, dengan semakin banyaknya persentase kapur yang ditambahkan maka pasta mortar akan cepat mengental atau bahkan mengeras. Pada *mix design* 1, pasta mortar cukup lama mengeras dikarenakan tidak adanya penambahan kapur.

Pembahasan

Data hasil pengujian yang telah didapatkan kemudian dianalisa pengaruh substitusi kapur terhadap kekuatan tekan dan porositas mortar geopolimer :

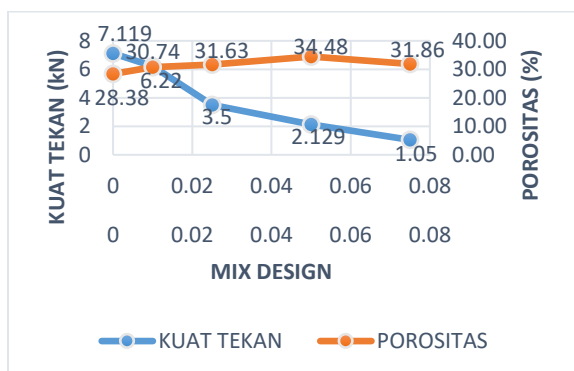
a. Analisa Hubungan Kuat Tekan Terhadap Porositas

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan bagaimana porositas mortar mempengaruhi kuat tekan pada usia 7, 14, dan 28 hari. Analisa ini dilakukan dengan menggabungkan data hasil uji kuat tekan dan uji porositas melalui grafik. Berikut grafik gabungan hasil uji kuat tekan dan porositas mortar geopolimer :



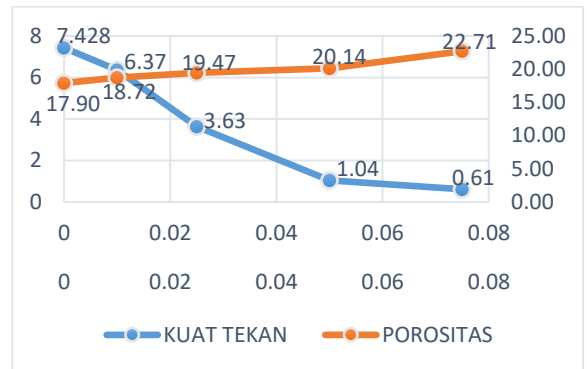
Gambar 8. Grafik Hubungan Antara Kuat Tekan dan Porositas pada Usia 7 Hari

Sumber : Hasil Pengolahan Data



Gambar 9. Grafik Hubungan Antara Kuat Tekan dan Porositas pada Usia 14 Hari

Sumber : Hasil Pengolahan Data

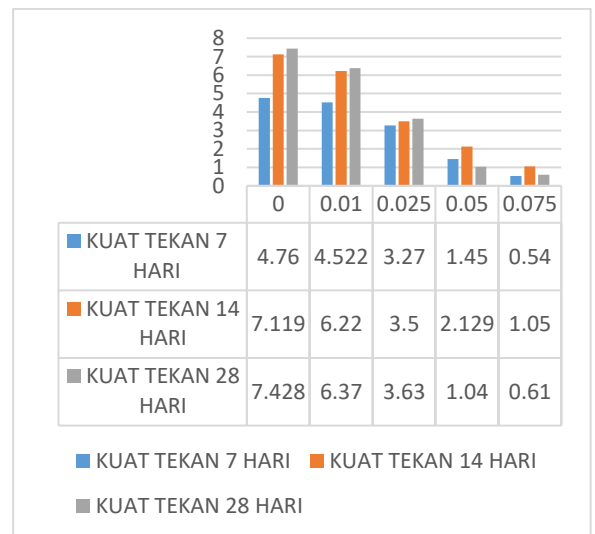


Gambar 10. Grafik Hubungan Antara Kuat Tekan dan Porositas pada Usia 28 Hari

Sumber : Hasil Pengolahan Data

b. Analisa Pengaruh Subtitusi Kapur Terhadap Kuat Tekan

Analisis ini dilakukan untuk mengidentifikasi pengaruh substitusi kapur terhadap nilai kuat tekan yang dihasilkan. Analisis ini menghubungkan data hasil uji kuat tekan dengan persentase kapur pada setiap *mix design* mortar geopolimer berbasis *fly ash* dan abu sekam padi dengan molaritas NaOH 8 M. Analisis ini meninjau hasil pengujian usia 7, 14 dan 28 hari. Berikut analisisnya:

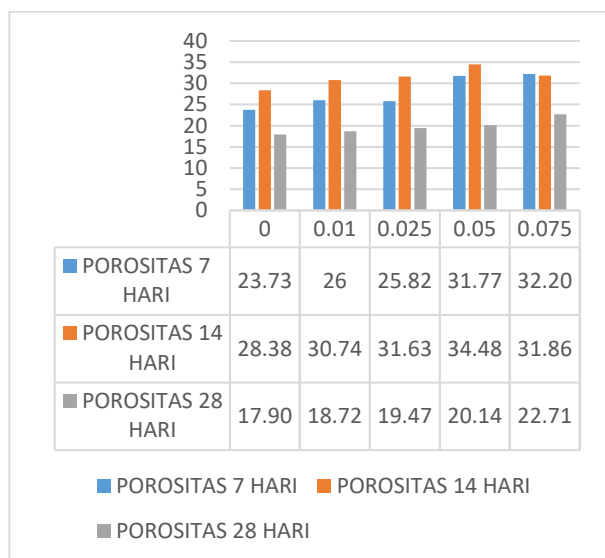


Gambar 11. Pengaruh Kapur Terhadap Kuat Tekan

Sumber : Hasil Pengolahan Data

c. Analisa pengaruh Subtitusi Kapur Terhadap Porositas

Analisis ini dilakukan untuk mengidentifikasi pengaruh rasio kapur terhadap persentase porositas yang dihasilkan. Analisis ini menghubungkan data hasil uji porositas dengan substitusi kapur pada setiap *mix design* mortar geopolimer berbasis *fly ash*, abu sekam padi dan kapur dengan molaritas NaOH 8 M. Analisis ini meninjau hasil pengujian usia 7, 14 dan 28 hari. Berikut analisisnya:



Gambar 12. Grafik Pengaruh Kapur Terhadap Porositas

Sumber : Hasil Pengolahan Data

d. *Mix Design* Kapur Terbaik Ditinjau dari Kuat Tekan dan Porositas

Mix design terbaik ditinjau berdasarkan nilai kuat tekan yang paling tinggi dan persentase porositas yang paling rendah. Campuran *mix design* terbaik menghasilkan mortar yang berkualitas, sebab mampu menahan beban yang besar dan memiliki daya serap yang kecil. Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, kuat tekan terbaik terdapat pada *mix design* tanpa penambahan rasio kapur atau 0% kapur, dan kuat tekan yang dihasilkan yaitu 7,428 MPa pada usia mortar 14 hari. Sedangkan *mix design* dengan kuat tekan yang baik setelah ditambah kapur yaitu pada *mix design* dengan rasio kapur 1% yang menghasilkan nilai kuat tekan 6,37 MPa pada usia mortar 28 hari.

Persentase porositas yang dihasilkan pada *mix design* 1 cukup rendah jika dibandingkan dengan *mix design* lain, namun ada beberapa *mix design* yang sedikit mengalami penurunan porositas yaitu pada mortar usia 7 hari dengan rasio kapur 2,5% dan pada usia 28 hari dengan rasio kapur 7,5%.

KESIMPULAN

- Pengaruh substitusi kapur terhadap kuat tekan mortar geopolimer berbasis *fly ash*, abu sekam padi dan kapur dengan menggunakan NaOH 8 M yaitu semakin tinggi rasio kapur maka semakin akan semakin rendah kuat tekan yang dihasilkan. Mortar tanpa penambahan kapur atau 0% kapur pada usia mortar 28 hari memiliki tingkat kuat tekan paling tinggi yaitu 7,428 MPa. Kuat tekan terbaik setelah penambahan kapur yaitu terdapat pada *mix design* dengan rasio kapur 1% pada usia 28 hari yaitu sebesar 6,37 MPa. Sedangkan kuat tekan terendah terdapat pada rasio 7,5% pada usia 7 hari yaitu sebesar 0,54 MPa.

- Pengaruh substitusi kapur terhadap porositas mortar geopolimer berbasis *fly ash*, abu sekam padi dan kapur dengan menggunakan NaOH 8 M yaitu semakin tinggi rasio kapur yang ditambahkan, maka akan semakin meningkatkan tingkat porositas pada mortar geopolimer. Rasio kapur 5% dan 7,5% memiliki persentase porositas yang hampir sama tinggi. Persentase porositas tertinggi pada penelitian mortar geopolimer ini yaitu terdapat pada *mix design* dengan rasio kapur 5% pada usia 14 hari yaitu sebesar 34,48%. Sedangkan persentase terendah terdapat pada *mix design* tanpa penambahan kapur atau 0% kapur pada usia 28 hari yaitu 17,90%.
- Rasio kapur terbaik mortar geopolimer berbasis *fly ash*, abu sekam padi dan kapur dengan menggunakan NaOH 8 M yaitu kuat tekan terbaik terdapat pada *mix design* tanpa penambahan rasio kapur atau 0% kapur, dan kuat tekan yang dihasilkan yaitu 7,428 MPa pada usia mortar 14 hari. Sedangkan *mix design* dengan kuat tekan yang baik setelah ditambah kapur yaitu pada *mix design* dengan rasio kapur 1% yang menghasilkan nilai kuat tekan 6,37 MPa pada usia mortar 28 hari. Persentase porositas yang dihasilkan pada *mix design* 1 cukup rendah jika dibandingkan dengan *mix design* lain, namun ada beberapa *mix design* yang sedikit mengalami penurunan porositas yaitu pada mortar usia 7 hari dengan rasio kapur 2,5% dan pada usia 28 hari dengan rasio kapur 7,5%.

DAFTAR PUSTAKA

- Widyananto, E. (2017). "Analisa Kuat Tekan Mortar Geopolimer Berbahan Abu Sekam Padi dan Kapur Padam". *The 6th University Research Colloquium 2017*, 183-188.
- Fatah, R. (2021). "Karakteristik Abu Sekam Padi (Rice Husk Ash) Hasil Pembakaran Sekam Padi". *Jurnal Teknik Mesin S-1, Vol. 9, No. 4, Tahun 2021*, 9, 565-570.
- Khoiriyah, N. L. (2016). "Karakteristik Mortar Geopolimer dengan Perawatan Oven pada Berbagai Variasi Waktu Curing". *POLITEKNOLOGI VOL. 15 NO. 1 JANUARI 2016*, 15, 1-8.
- Pamaratana, J. P. (2022). "Penelitian Pembuatan Mortar Geopolimer Berbasis Campuran Lumpur Lapindo, Fly Ash, Alkali Aktivator dan Foam Agent". *Student Journal GELAGAR 2022 VOLUME 1, 1*, 1-11.
- S, Darma. A. (2018). "Studi Experimental Pengaruh Perbedaan Molaritas Aktivator Pada Perilaku Beton Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash". *JURNAL KARYA TEKNIK SIPIL, Volume 7, Nomor 1, Tahun 2018*, 7, 89-98.
- Setiawan, D. F. (2019). "Penggunaan Abu Sekam Padi Sebagai Bahan Substitusi Fly Ash Pada Mortar Geopolimer Dengan Naoh 8 Molar Ditinjau Dari Kuat Tekan Dan Porositas". *REKATS: Rekayasa Teknik Sipil, 7(3)*, 1-8.

- Sulianti, I. (2021). "Analisis Kuat Tekan Beton Geopolimer Menggunakan Fly Ash dan Abu Sekam Padi". *Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil Vol. 9 No. 2, Juli 2021*, 9, 63-70.
- Toruan, A. L. (2013). "Pengaruh Porositas Agregat Terhadap Berat Jenis Maksimum Campuran". *Jurnal Sipil Statik Vol.1 No.3, Februari 2013*, 1, 190-195.