

ANALISA KUAT TEKAN MORTAR *GEOPOLIMER* DENGAN PENGIKAT *ZEOLIT* DAN *FLY ASH* DITAMBAH MOLARITAS 12 MOLAR DAN 14 MOLAR PADA KONDISI $W/S=0,35$

Achmad Fuad Efendi

Mahasiswa S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
achmadefendi@mhs.unesa.ac.id

Arie Wardhono

Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
ariewardhono@unesa.ac.id

Abstrak

Penelitian kali ini dilakukan bertujuan untuk (1) mengetahui kuat tekan paling tinggi untuk mortar geopolimer dengan bahan *zeolit* dan abu terbang (*fly ash*) kelas C kondisi $W/S=0,35$ (2) mengetahui kuat tekan optimum berdasarkan pengaruh variasi *zeolit* pada 7, 14, dan 28 hari dengan zat aditif 12 molar (3) mengetahui kuat tekan optimum berdasarkan pengaruh variasi *zeolit* pada 7,14, dan 28 hari dengan zat aditif 14 molar (4) mengetahui hasil kuat tekan antara mortar geopolimer dengan mortar konvensional. Penelitian ini meliputi pengujian kuat tekan mortar dan waktu pengikatan awal (*initial setting time*). Pengetesan waktu ikat awal dilakukan dengan alat vikat yang berstandar ASTM C 191-08, pengetesan dilakukan sesuai umur mortar yang telah direncanakan ketika mortar memiliki umur 7, 14, dan 28 hari menggunakan mortar benda uji yang memiliki ukuran yaitu 5cm x 5cm x 5cm. Data penelitian mengindikasikan material *zeolit* memiliki pengaruh yang besar terhadap mortar *geopolimer* dan kuat tekan semakin meningkat akibat penambahan bahan *zeolit* yang optimal campuran variasi 5% terhadap 12 molar yang mampu mencapai nilai kuat tekan rata-rata 39,78 MPa dan pengujian uji vikat menghasilkan waktu pengikatan awal pada menit ke 40, serta berat per volume 2,30 gram/cm³. Kondisi 14 molar mampu mendapatkan nilai kuat tekan rata-rata 40,39 MPa dan pengujian uji vikat menghasilkan waktu pengikatan awal pada menit ke 25, serta berat per volume 2,22 gram/cm³.

Kata Kunci: Abu Terbang, Zeolit, Geopolimer, dan Kuat Tekan

Abstract

This research purpose to (1) determine the highest compressive strength for geopolimer mortar with zeolit and fly ash class C conditions $W / S = 0.35$ (2) determine the optimum compressive strength based on the effect of zeolit variation at 7 , 14, and 28 days with 12 molar addictive substances (3) to determine the optimum compressive strength based on the effect of zeolit variations at 7,14 and 28 days with 14 molar additives (4) to determine the compressive strength results between geopolimer mortar and conventional mortar. This research includes testing the compressive strength of the mortar and initial setting time. Initial binding time testing was carried out with a vicat device with ASTM C 191-08 standard, testing was carried out according to the planned age of the mortar when the mortar was 7, 14, and 28 days old using the test object mortar which had a size of 5cm x 5cm x 5cm. The research data indicate that the zeolite material has a great effect on the geopolimer mortar and the compressive strength increases due to the addition of the optimal zeolite material, a mixture of 5% variation to 12 molar which is able to achieve an average compressive strength value of 39.78 MPa and the bond test results in binding time. initial at minute 40, and weight per volume 2.30 gram / cm³. The 14 molar conditions were able to get an average compressive strength value of 40.39 MPa and

the bond test test resulted in the initial binding time at 25 minutes, and the weight per volume of 2.22 grams /cm³.

Keywords: Fly ash, Zeolite, Geopolymer, and Compressive Strength

PENDAHULUAN

Banyak penelitian yang dilaksanakan untuk mengetahui beton yang efisien serta baik bagi lingkungan, diantaranya adalah penelitian beton *geopolimer* yang memakai campuran bahan dari saMPah industri atau anorganik (Davidovits,1999).

Geopolimer merupakan bahan anorganik yang memiliki kandungan Aluminium (Al) dan silikat (Si) yang digunakan untuk campuran utama dan reaktan alkali untuk pengikat. Beton *geopolimer* memiliki bahan dasar yang disebut abu terbang (*fly ash*) (Davidovits, 1999).

Peningkatan kuat tekan mortaar dapat dihasilkan melalui penambahan bahan fly ash dengan prosentase tertentu dari total berat semen. Prosentase penambahan abu terbang yang digunakan untuk peningkatan kuat tekat sejumlah 10% dengan kuat tekan umur 56 hari sebesar 100,72 kg/cm² (Andoyo, 2006).

Zeolit sebagai mineral bahan tambah yang memiliki 15% kadar dari berat semen menambah kuat lentur beton yang semula 2,83 MPa menjadi 3,88 MPa (peningkatan sebesar 26,99%) dengan nilai porositas sebesar 11,75% (Febrianto Ika, 2011).

Abu terbang kelas C dengan kombinasi NaOH 10 molar yang digunakan sebagai bahan dasar mortar *geopolimer*, ketika dalam keadaan SS/SH 2,5 memiliki variasi *water rasio* (*w/s*) sebesar 0,35 dan memiliki kuat tekan dengan nilai sebesar 48,17 MPa dan ketika dalam keadaan SS/SH 2,5 memiliki *water rasio* (*w/s*) sebesar 0,30 memiliki kuat tekan dengan nilai sebesar 37,14 MPa (Sugiarti dan Wardhono, 2018).

Resistensi kuat tekan pasta pada *geopolimer* yang memiliki prosentase alkali aktivator sebesar 26% dan masa *geopolimer* 74% molaritas 8M dan 12M terhadap agresivitas NaCl mengindikasikan bahwa molaritas pada larutan sodium hidoksida yang memakai rasio perbandingan campuran antara Na₂SiO₃/NaOH = 1,5 mendapatkan nilai kuat tekan paling besar terhadap molaritas 12 molar dengan nilai 129.96 MPa diumur 120 hari (Subekti Srie, 2009).

Penelitian mortar *geopolimer* ini dilakukan dengan menggunakan bahan dasar *geopolimer* kelas C dan *zeolit*. Penambahan zat activator berupa NaOH dan Na₂SiO₃ dilakukan pada molaritas 12M serta 14M, Sehingga diharapkan mampu meningkatkan kuat tekan mortar.

Melalui latar belakang permasalahan yang telah dijelaskan, dapat diambil rumusan asalah yaitu: (1)

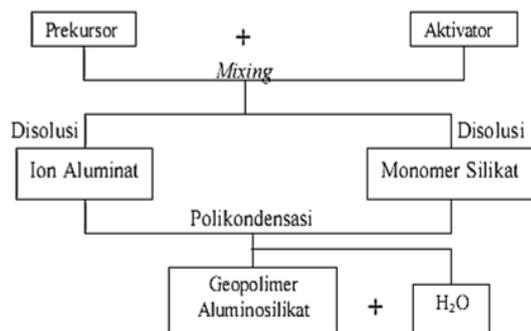
berapa nilai kuat tekan tertinggi unntuk mortar *geopolimer* dengan campuran *zeolit* dan abu terbang (*fly ash*) kelas C pada W/S (*Water/Solid*) 0,35 (2) berapa kuat tekan optimum berdasarkan pengaruh variasi *zeolit* pada 7, 14, dan 28 hari dengan zat aditif 12 molar (3) berapa kuat tekan optimum berdasarkan pengaruh variasi *zeolit* pada 7,14, dan 28 hari dengan zat aditif 14 molar? (4) berapa hasil kuat tekan antara mortar *geopolimer* dengan mortar konvensional.

Penelitian ini memiliki tujuan yaitu: (1) mengetahui kuat tekan paling tinggi mortar *geopolimer* dengan bahan *zeolit* dan abu terbang (*fly ash*) kelas C kondisi W/S=0,35 (2) mengetahui kuat tekan optimum berdasarkan pengaruh variasi *zeolit* pada 7, 14, dan 28 hari memakai zat aditif 12 molar (3) mengetahui kuat tekan optimum berdasarkan pengaruh variasi *zeolit* pada 7,14, dan 28 hari memakai zat aditif 14 molar (4) mengetahui hasil kuat tekan antara mortar *geopolimer* dengan mortar konvensional.

Penelitian ini memiliki batasan masalah, yaitu: (1) bahan tambah dari mortar *geopolimer* memanfaatkan *geopolimer* dan *zeolit* (2) *geopolimer* yang digunakan adalah tipe C dari CV. Lestari, Menganti, Surabaya (3) agregat halus yang digunakan berupapasis Lumajang dari UD. Jaya Sakti, Mojosari, Mojokerto (4) pengujian yang digunakan berupa uji kuat tekan (5) Pemakaian larutan aktivator sodium silikat (Na₂SiO₃) dan sodium hidoksida NaOH dengan perbandingan sebesar 1,5 yang didapatkan di toko Bratachem, Jalan Tidar, Surabaya (6) Molaritas sodium hidoksida yang digunakan sebesar 12 M dan 14 M (7) waktu pengujian tes kuat tekan dilakukan pada umur 7, 14, dan 28 hari, sedangkan umur 21 hari tiddak dimasukkan karena menerapkan penelitian sebelumnya (8) *zeolit* yang digunakan adalah yang sudah berbentuk tepung didapatkan dari CV. Adi Water, Jl S. Parman IV No. 8 Waru, Sidoarjo (9) pelaksanaan penelitian dilakukan di laboratorium Teknik Sipil Universitas Negeri Surabaya (10) nilai kuat tekan diambil saat benda uji pertama kali hancur.

Penelitian memiliki beberapa manfaat, diantaranya: (1) membuat sebuah terobosan baru dengan pembuatan mortar tanpa semen berbahan dasar abu terbang (*geopolimer*) dan *zeolit* (2) menambah alternatif bahan penyusun mortar yaitu bahan tambah campuran mortar untuk mengatasi kekurangan bahan pengikat mortar serta mengurangi biaya produksi (3) data akhir penelitian dapat dimanfaatkan sebagai rujukan untu menentukan

Sesuai dengan persamaan reaksi kimia 3, proses polimerisasi akan menghasilkan *geopolimer* dengan hasil samping H₂O.



Gambar 1 Alur polimerisasi (Septia G. Pugar, 2011)

Molaritas (M) didapat dari perbandingan mol zat terlarut dengan volume pelarut. Dalam rumus dinotasikan sebagai Persamaan 2.1 berikut:

$$\text{Molaritas (M)} = \frac{\text{mol}}{\text{Volume Pelarut (liter)}}$$

(Sumber: ASTM C109/C109M-2)

Standar acuan yang digunakan untuk menentukan *mix design* untuk menentukan komposisi bahan penyusunan mortar menggunakan standar dari American Standard Testing and Material (ASTM International).

Penelitian ini menggunakan mortar sebagai pengujian benda uji. Cetakan mortar yang digunakan adalah kubus berdimensi 5 cm x 5 cm x 5 cm, sedangkan untuk komposisi (*mix design*) peneliti mengacu pada penelitian sebelumnya karena belum ada standar perhitungan komposisi *mix design geopolimer* yang pasti, untuk acuan perhitungan *mix design geopolimer* yaitu penelitian yang telah dilakukan oleh Nath dan Sarker (2015), berikut adalah komposisi yang dituangkan dalam bentuk Tabel 2:

Tabel 2 Komposisi Mortar *Geopolimer*

Mix no.	Designation	Concrete mixture quantity (kg/m ³)					
		CA ^a	Sand	Fly ash	GGBFS	SS ^b	SH ^c
1	S00	1209	651	400	0	114.3	45.7
2	S10/A40/R2.5	1209	651	360	40	114.3	45.7
3	S20	1209	651	320	80	114.3	45.7
4	S30	1209	651	280	120	114.3	45.7
5	A35	1209	651	360	40	100	40
6	A45	1209	651	360	40	128.5	51.5
7	R1.5	1209	651	360	40	96	64
8	R2.0	1209	651	360	40	106.7	53.3

(Sumber: ASTM C109/C109M-2)

Kajian Penelitian Yang Relevan

Hasil penelitian Januarti dkk (2007) tentang Mortar Geopolimer berbahan dasar *Geopolimer* dan lumpur porong kering dengan perbandingan 1 : 4 pada umur mortar 3, 7, 14, 21, dan 28 hari dengan menggunakan

variasi aktifator NaOH dengan molaritas 8M dan 10M dapat dilihat pada gambar 2



Gambar 2. Grafik Kuat Tekan Geopolimer (Sumber: Januarti dkk 2007)

Berdasarkan hasil kuat tekan pada grafik variasi NaOH molaritas 8M dan 10M di atas di dapatkan hasil tertinggi pada molaritas 10M dengan penambahan air 100%.

Penelitian Subekti (2009) mengungkapkan bahwa ketahanan kuat tekan pasta *geopolimer* molaritas 8 M dan 12 M terhadap agresifitas NaCl menyebutkan mortar dengan molaritas larutan sodium hidroksida dengan rasio perbandingan antara Na₂SiO₃/NaOH yang tinggi akan meningkatkan kuat tekan mortar.

Binder Geopolimer 12 M serta perbandingan Na₂SiO₃/NaOH = 1,5 dalam rendaman larutan NaCl selama 120 hari memiliki kuat tekan sebesar 126,96 MPa yaitu naik sebesar 74,31 % terhadap nilai awal, sedangkan binder geopolimer 8 M dan perbandingan Na₂SiO₃/NaOH = 1,5 dalam rendaman Larutan NaCl selama 120 hari memiliki kuat tekan yang lebih rendah yaitu 119,7 MPa – naik 59,23 % terhadap nilai awal. Grafik dan tabel hasil penelitian sebagai berikut:

Tabel 3 Hasil Uji Tekan Binder *Geopolimer* 8 Mol 1,5

Rendaman	Kuat Tekan (MPa)				
	0 hr	30 hr	60 hr	90 hr	120 hr
NaCl	71.57	89.26	100.74	119.48	119.7
Tawar	71.57	84.06	90.99	99.87	99.98

Tabel 4 Hasil Uji Tekan Binder *Geopolimer* 12 Mol 1,5

Rendaman	Kuat Tekan (MPa)				
	0 hr	30 hr	60 hr	90 hr	120 hr
NaCl	72.83	95	107.02	124.57	126.96
Tawar	72.83	85.9	90.1	102.37	103.23

Penelitian Febrianto, Ika (2011) tentang kajian kuat porositas dan kuat lentur menggunakan *zeolit* sebagai bahan tambah dan pengganti semen 5%,10%, 15%, 20%, dan 25% terhadap berat semen dengan mutu mortar yang direncanakan adalah $f_c' = 30$ MPa pada umur 28 hari mendapatkan data penelitian sebesar :

Tabel 5 Hasil Pengujian MOR dengan *zeolit* sebagai bahan penambah (Sumber: Febrianto, Ika 2011)

Kode benda uji	Variasi penambahan Zeolit	Gaya P (N)	Berat (Kg)	MOR (MPa)	MOR rata-rata (MPa)
BZ 0%	0	6000	13,2	3,0645	2,8395
		5000	12,53	2,6145	
		5500	13,1	2,8395	
BZ 5%	5	6500	13,6	3,2895	3,2145
		6000	13,5	3,0645	
		6500	13,3	3,2895	
BZ 10%	10	6500	13,5	3,2895	3,3645
		7000	13,6	3,5145	
		6500	13,1	3,2895	
BZ 15%	15	7000	13,4	3,5145	3,8895
		8500	13,2	4,1895	
		8000	13,2	3,9645	
BZ 20%	20	5500	13,4	2,8395	3,1395
		6000	13,1	3,0645	
		7000	13,1	3,5145	
BZ 25%	25	5000	12,8	2,6145	2,9145
		6500	12,9	3,2895	
		5500	13	2,8395	

Tabel 5 dapat disimpulkan bahwa penggunaan *zeolit* sebagai bahan tambah 15% dapat meningkatkan kuat lentur mortar sebesar 26,99% (Febrianto, Ika, 2011)

Tabel 6 Hasil Pengujian MOR dengan *zeolit* sebagai bahan pengganti (Sumber: Febrianto, Ika 2011)

Kode benda uji	Variasi penggantian Zeolit	Gaya P (N)	Berat (Kg)	MOR (MPa)	MOR rata-rata (MPa)
BZ 0%	0	6000	13,2	3,0645	2,8395
		5000	12,53	2,6145	
		5500	13,1	2,8395	
BZ 5%	5	5000	13	2,6145	2,9895
		6000	13,2	3,0645	
		6500	13,4	3,2895	
BZ 10%	10	10000	13,2	4,8645	4,4145
		9000	13,3	4,4145	
		8000	13,3	3,9645	
BZ 15%	15	8500	13	4,1895	3,5895
		6000	13,2	3,0645	
		7000	12,9	3,5145	
BZ 20%	20	5000	13,4	2,6145	2,6145
		6000	13,1	3,0645	
		4000	13,5	2,1645	
BZ 25%	25	3000	13,8	1,7145	2,1645
		5000	13,2	2,6145	
		4000	13,2	2,1645	

Tabel 6 dapat disimpulkan bahwa peningkatan kuat lentur mortar sebesar 35,67% merupakan hasil *zeolit* yang digunakan sebagai bahan pengganti semen 10%.

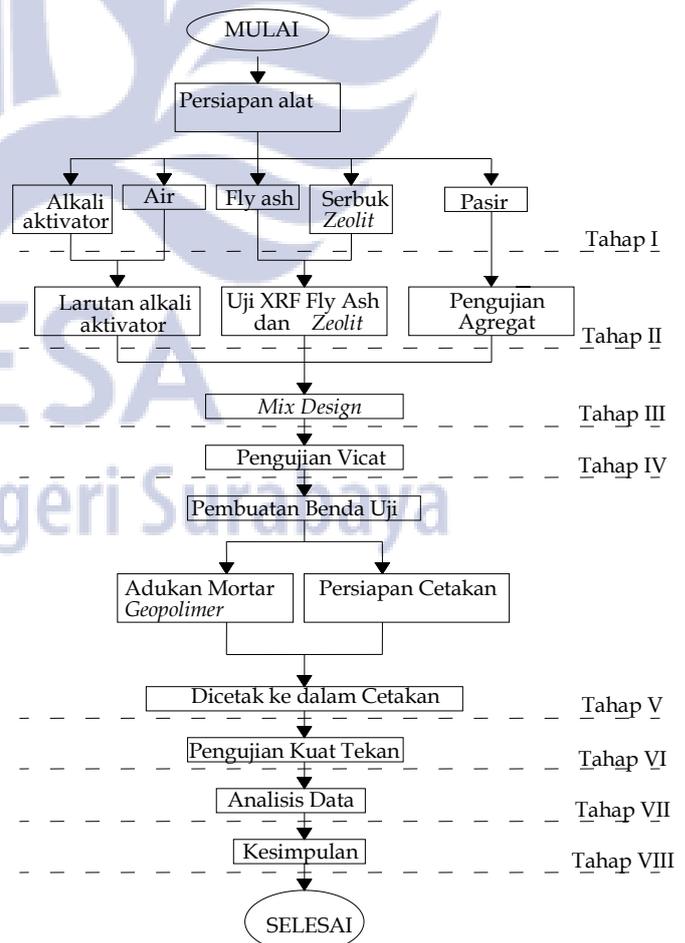
METODE

Penelitian ini dilakukan dengan cara mengetahui kuat tekan mortar dan pengetesan benda uji terhadap waktu pengikatan awal (*initial setting time*). Penilaian waktu ikat awal menggunakan alat vicat yang sesuai dengan standar ASTM C 191-08 pada pengujian kuat tekan, standar yang dipakai adalah ASTM C 109. Pengujian dilaksanakan sesuai umur yang telah direncanakan yaitu ketika beton mencapai umur 7, 14, dan 28 hari dengan benda uji yang berukuran 5 cm x 5 cm x 5 cm.

Uji Bahan : (1) Uji gradasi pasir, kadar lumpur dan kandungan organik pasir dilaksanakan di laboratorium beton Jurusan Teknik Sipil Universitas Negeri Surabaya, (2) Uji jarum vikat untuk binder dilaksanakan di laboratorium beton Jurusan Teknik Sipil Universitas Negeri Surabaya.

Pengerjaan benda uji yang digunakan untuk pelaksanaan uji tekan sejumlah 45 buah dan uji porositas sejumlah 30 buah. Pengujian kuat tekan menggunakan mesin uji tekan beton berkapasitas 10000 KN.

Gambar 3 Bagan Alur Penelitian



Penelitian ini memiliki beberapa tahap, yaitu: Uji kuat tekan ini dilakukan dengan pemberian gaya maksimum per satuan luas yang bekerja pada benda uji mortar berbentuk kubus dengan ukuran dan umur tertentu hingga batas gaya yang bekerja saat benda uji kubus mengalami keretakan dan pecah. Perhitungan kuat tekan berdasarkan ASTM C109/C 109M-02 dengan rumus sebagai berikut :

$$\sigma_m = \frac{P}{A} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

Dimana σ_m : Kuat Tekan (MPa)
 P : Beban Maksimum (N)
 A : Luas Penampang (mm²)

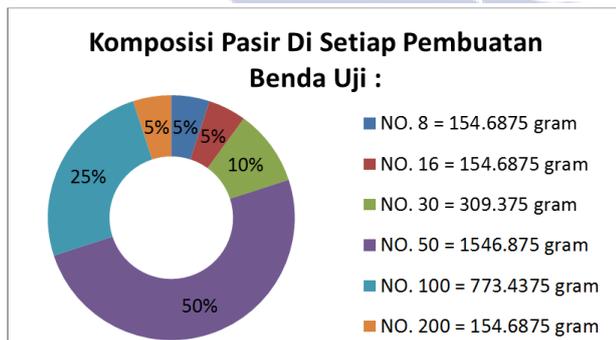
HASIL DAN PEMBAHASAN

Persiapan Penelitian

Langkah pertama dalam penelitian ini adalah menyiapkan pasir. pasir yang dibeli dari CV. Karunia Surabaya merupakan jenis pasir yang kualitasnya terbaik disana yang dikenal dengan nama pasir lumajang. Berikut adalah ketentuan pasir yang akan digunakan :

Tabel 7 Hasil Pengujian Analisa Ayakan

Komposisi Pasir untuk setiap pembuatan Mix Design Benda Uji :						
NO. 8	=	5%	x	3093.75	=	154.6875 gram/cm ³
NO. 16	=	5%	x	3093.75	=	154.6875 gram/cm ³
NO. 30	=	10%	x	3093.75	=	309.375 gram/cm ³
NO. 50	=	50%	x	3093.75	=	1546.875 gram/cm ³
NO. 100	=	25%	x	3093.75	=	773.4375 gram/cm ³
NO. 200	=	5%	x	3093.75	=	154.6875 gram/cm ³



Gambar 4 Komposisi Pasir

Persiapan bahan *zeolit*, bahan *zeolit* diperoleh dari tempat penggilingan bongkahan *zeolit* di CV. Adi Water. *Zeolit* yang diperoleh dari lokasi penggilingan sudah berbentuk *powder zeolit* berbentuk serbuk sangat halus, maka tidak perlu dilakukan penghalusan ulang sehingga bahan *zeolit* bias langsung digunakan untuk bahan campuran tambahan mortar *geopolimer*.

Pembuatan alkali aktivator *sodium silicate* (Na₂SiO₃) dan *sodium hydroxide* (NaOH) serta

aquades yang dipakai pada penelitian ini didapat dari toko bahan kimia PT. Bratacho di Jl. Tidar, Surabaya.

Pada penelitian ini perbandingan larutan alkali aktivator antara *sodium silicate* (Na₂SiO₃) dan *sodium hydroxide* (NaOH) yang digunakan sebesar 1,5. Molaritas larutan *sodium hydroxide* (NaOH) yang dipakai sebesar 12 Molar dan 14 Molar. Karena *sodium hydroxide* (NaOH) yang didapat dari toko bahan kimia PT. Bratacho berupa kepingan untuk mendapatkan larutan NaOH sebesar 12 Molar dan 14 Molar, perlu dilakukan pencampuran antara *sodium hydroxide* (NaOH) dan aquades.

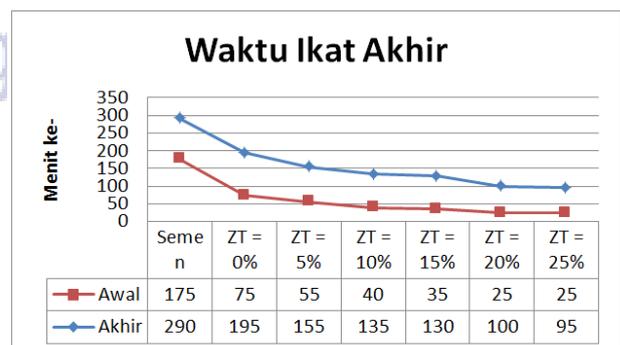
Pembahasan

Hasil pengujian yang telah dilakukan antara lain, pertama dilakukan pengujian benda uji (BU) terhadap pengujian waktu pengikatan (*setting time*) pada pasta CT, BU1, BU2, BU3, BU4, BU5, dan BU6 untuk mengetahui waktu pengikatan awal (*initial setting time*) dan waktu pengikatan akhir (*final setting time*). Kedua, pengujian kuat tekan pada mortar keras dilakukan sesuai dengan umur rencana 7,14, dan 28 hari.

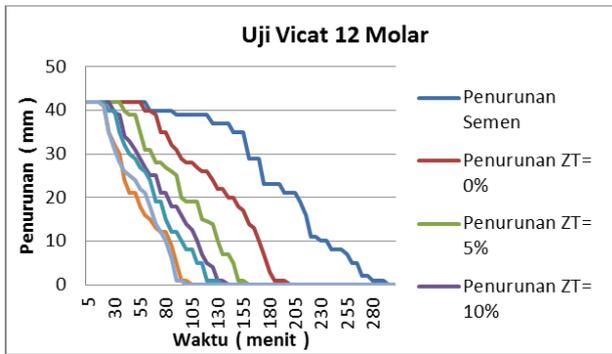
Waktu pengikatan (*setting time*) pada pasta CT, BU1, BU2, BU3, BU4, BU5 dan ditunjukkan hasil pengujian vikat tes. Dalam pengujian waktu pengikatan (*setting time*) didapatkan data waktu pengikatan awal (*initial setting time*) dan waktu pengikatan akhir (*final setting time*). Berikut hasil pengujian vikat tes.

Tabel 8 Variasi waktu pengikatan awal dan akhir pasta (vikat 12 molar)

Penurunan	Pengikatan Awal	Pengikatan Akhir
	Menit ke-	Menit ke-
Semen	175	290
ZT = 0%	75	195
ZT = 5%	55	155
ZT = 10%	40	135
ZT = 15%	35	130
ZT = 20%	25	100
ZT = 25%	25	95



Gambar 5 Variasi hasil pengujian waktu pengikatan awal dan akhir pasta (vikat 12 molar)

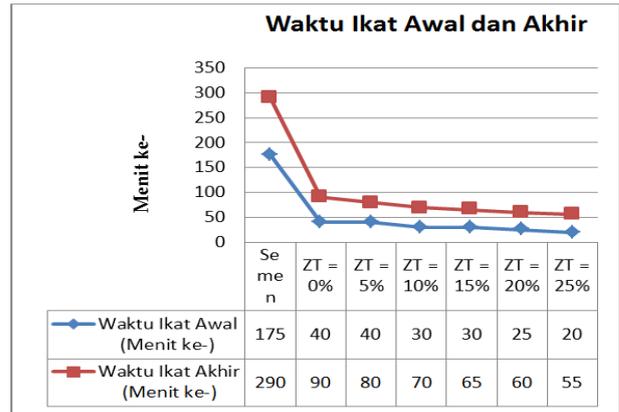


Gambar 6 Variasi hasil pengujian waktu pengikatan pasta (vicat 12 molar)

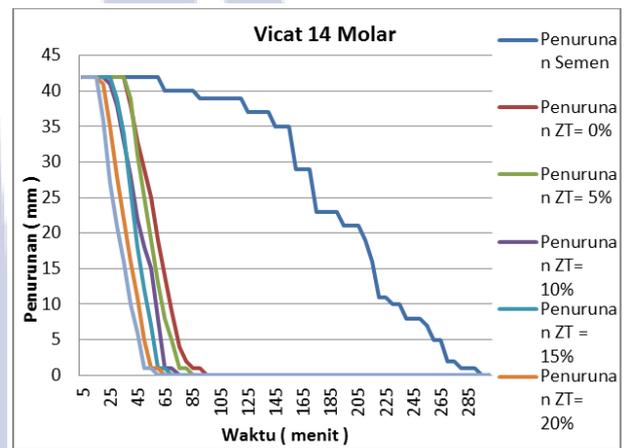
Pada Tabel 8 dan Gambar 5 merupakan hasil variasi waktu pengikatan dari variasi campuran yang berbeda-beda CT, BU1, BU2, BU3, BU4, BU5 dan BU6. Tes waktu pengikatan dilakukan dalam suhu ruangan antara 20-40°C. Hasil tersebut pasta semen dengan kode CT membutuhkan waktu yang lama untuk mengikat yaitu 175 menit untuk pengikatan awal dan 290 menit untuk waktu pengikatan akhir, pada pasta *geopolimer* berbahan *fly ash* kode BU1 membutuhkan waktu pengikatan awal selama 75 menit dan waktu pengikatan akhir 195 menit. Penambahan serbuk *zeolit* sebanyak 5% pada pasta *geopolimer* dengan kode BU2 mempercepat waktu pengikatan dengan pengikatan awal selama 55 menit dan pengikatan akhir selama 155 menit. Penambahan 10% serbuk *zeolit* pada pasta *geopolimer* dengan kode BU3 membutuhkan waktu 40 menit untuk pengikatan awal dan 135 menit untuk waktu pengikatan akhir. pada penambahan 15% serbuk *zeolit* pada pasta *geopolimer* BU4 dibutuhkan waktu pengikatan awal selama 35 menit dan waktu pengikatan akhir selama 130 menit. pada penambahan 20% serbuk *zeolit* pada pasta *geopolimer* BU5 dibutuhkan waktu pengikatan awal selama 25 menit dan waktu pengikatan akhir selama 100 menit. pada penambahan 25% serbuk *zeolit* pada pasta *geopolimer* BU6 dibutuhkan waktu pengikatan awal selama 25 menit dan waktu pengikatan akhir selama 95 menit. Data hasil penelitian menunjukkan waktu pengikatan mortar yang ditambah campuran bahan *zeolit* lebih cepat dari pada pasta *geopolimer* yang berbahan *fly ash*.

Tabel 9 Variasi waktu pengikatan awal dan akhir pasta (vicat 14 molar)

Penurunan	Pengikatan Awal	Pengikatan Akhir
	Menit ke-	Menit ke-
Semen	175	290
ZT = 0%	40	90
ZT = 5%	40	80
ZT = 10%	30	70
ZT = 15%	30	65
ZT = 20%	25	60
ZT = 25%	20	55



Gambar 7 Variasi hasil pengujian waktu pengikatan pasta (vicat 14 molar)



Gambar 8 Variasi hasil pengujian waktu pengikatan pasta (vicat 14 molar)

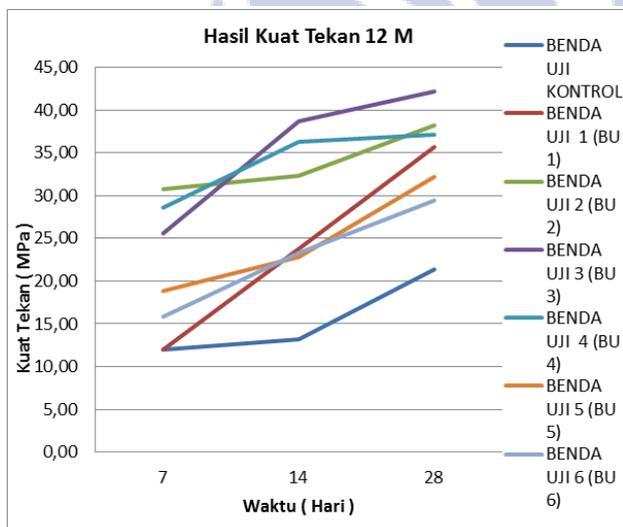
Pada Tabel 9 dan Gambar 7 merupakan hasil variasi waktu pengikatan dari variasi campuran yang berbeda-beda CT, BU1, BU2, BU3, BU4, BU5 dan BU6. Tes waktu pengikatan dilakukan dalam suhu ruangan antara 20-40°C. Hasil tersebut pasta semen dengan kode CT membutuhkan waktu yang lama untuk mengikat yaitu 175 menit untuk pengikatan awal dan 290 menit untuk waktu pengikatan akhir, pada pasta *geopolimer* berbahan *fly ash* kode BU1 membutuhkan waktu pengikatan awal selama 75 menit dan waktu pengikatan akhir 195 menit. Penambahan serbuk *zeolit* sebanyak 5% pada pasta *geopolimer* dengan kode BU2 mempercepat waktu pengikatan dengan pengikatan awal selama 40 menit dan pengikatan akhir selama 80 menit. Penambahan 10% serbuk *zeolit* pada pasta *geopolimer* dengan kode BU3 membutuhkan waktu 30 menit untuk pengikatan awal dan 70 menit untuk waktu pengikatan akhir. pada penambahan 15% serbuk *zeolit* pada pasta *geopolimer* BU4 mengalami pengikatan awal selama 30 menit dan waktu

pengikatan akhir selama 65 menit. Penambahan 20% serbuk *zeolit* pada pasta *geopolimer* BU5 dibutuhkan waktu pengikatan awal selama 25 menit serta waktu pengikatan akhir selama 60 menit. Penambahan 25% serbuk *zeolit* pada pasta *geopolimer* BU6 dibutuhkan waktu pengikatan awal selama 20 menit dan waktu pengikatan akhir selama 55 menit. Hasil memperlihatkan waktu pengikatan lebih cepat ketika ditambahkan bahan serbuk *zeolit* dibandingkan dengan pasta *geopolimer* berbahan *fly ash*.

Pengujian kuat tekan mortar dilakukan ketika mortar berumur 7, 14, dan 28 hari. Hasil pengujian kuat tekan mortar sebagai berikut:

Tabel. 10 rata-rata variasi hasil kuat tekan mortar (MPa)

Umur (hari)	CT MPa	(BU 1) MPa	(BU 2) MPa	(BU 3) MPa	(BU 4) MPa	(BU 5) MPa	(BU 6) MPa
7	11.99	12.00	30.77	25.59	28.62	18.88	15.87
14	13.19	23.75	32.28	38.71	36.24	22.87	23.28
28	21.37	35.74	38.16	42.13	37.17	32.24	29.40



Gambar 9 Hubungan umur dengan kuat tekan mortar

Pengujian mortar didapat hasil pada Tabel 10 dan Gambar 9 mendapatkan hasil rata-rata kuat tekan mortar dengan komposisi *fly ash*, *zeolit* dan OPC sebagai bahan pengganti CaO untuk campuran bahan mortar. Kuat tekan yang dihasilkan mortar CT, BU1, BU2, BU3, BU4, BU5 dan BU6, dengan kuat rata-rata umur 28 hari CT : 21.37 MPa, BU1 32.04 MPa, BU2 40.36 MPa, BU3 33.23 MPa, BU4 32.58 MPa, BU5 30.72 MPa dan 30.15 MPa. Kuat tekan tertinggi pada mortar BU2 sebesar 40.36 MPa paling rendah pada BU6 yaitu sebesar 30.15 MPa.

Penambahan serbuk *zeolit* ke dalam campuran mortar menaikkan nilai kuat tekan pada pada campuran 5% serbuk *zeolit* dan menurunkan nilai kuat tekan dengan drastis pada campuran 20% dan 25%. Nilai kuat tekan

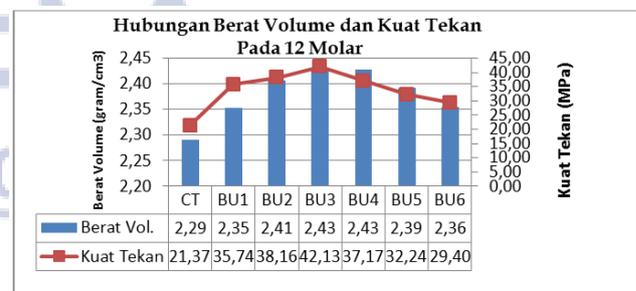
rata-rata mortar umur 28 hari dengan campuran 5% serbuk *zeolit* lebih tinggi dibandingkan dengan mortar kontrol *geopolimer* berbahan *fly ash* saja. Mortar umur 28 hari kuat tekan mortar BU2 meningkat sebesar 25.94 % dari kuat tekan mortar BU1. Hasil kuat tekan pada mortar BU3, BU4, BU5 dan BU6 menurun dibandingkan mortar BU2, mortar BU3 sebesar 17.65%, mortar BU4 sebesar 19.28%, mortar BU5 sebesar 23.89%, dan BU6 sebesar 25.29%. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa mortar dengan penambahan serbuk *zeolit* dapat meningkatkan kekuatan mortar *geopolimer* pada campuran optimal yaitu 5% serbuk *zeolit* atau mortar BU2 turun dengan campuran 10%, 15%, 20% dan 25%.

Kuat tekan menurun disebabkan *setting time* mortar pada campuran 10%, 15%, 20% dan 25% serbuk *zeolit* semakin tinggi jadi mortar lebih cepat mengeras sehingga sulit dicetak juga dipadatkan hal ini bisa menurunkan hasil kuat tekan mortar.

Berat volume mortar adalah perbandingan antara mortar terhadap volumenya (Manuahe et al, 2014). Berikut data pengujian kuat tekan dan berat volume mortar 12 molar kondisi umur mortar 28 hari.

Tabel. 11 Kuat tekan rata – rata dan berat volume (12 molar)

Benda	Kuat Tekan	Berat Vol.
Uji	Rata-rata	Rata-rata
(Mix)	(MPa)	(gram/cm ³)
CT	21.37	2.29
BU1	35.74	2.35
BU2	38.16	2.41
BU3	42.13	2.43
BU4	37.17	2.43
BU5	32.24	2.39
BU6	29.40	2.36



Gambar 10 Hubungan kuat tekan rata – rata dan berat volume umur 28 hari (12 molar)

Hasil pada Tabel 11 dan Gambar 10 menunjukkan berat volume mortar mengalami peningkatan dengan bertambahnya jumlah serbuk *zeolit* pada bahan pengikat.

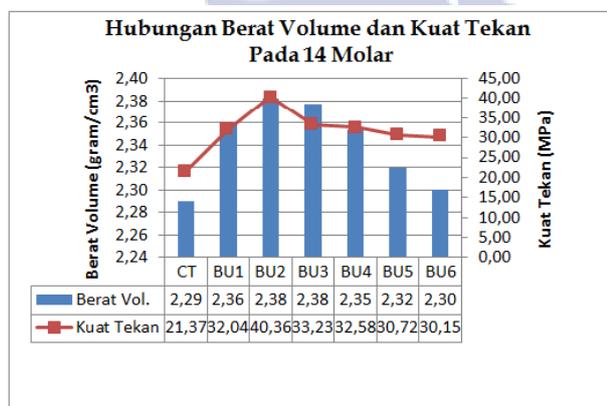
Namun hasil kuat tekan mengalami penurunan dengan bertambahnya jumlah serbuk *zeolit*.

Peningkatan disebabkan berat jenis *zeolit* lebih tinggi dibandingkan dengan *fly ash* sehingga menyebabkan mortar semakin berat karena berat volume mortar tergantung dari berat volume agregat yang digunakan dalam campuran. Hasil kuat tekan menunjukkan penurunan, hal ini disebabkan tingkat kehalusan bahan pengikat karena butiran serbuk *zeolit* yang terlalu besar menyebabkan adanya rongga dalam mortar sehingga berat volume mortar mengecil dan dapat menurunkan nilai kuat tekannya.

Perbandingan berat dengan volume mempengaruhi kuat tekan mortar. Berikut hasil pengujian kuat tekan dan berat volume mortar 14 molar kondisi umur 28 hari.

Tabel 12 Kuat tekan rata-rata dan berat volume (14 molar)

Benda	Kuat Tekan	Berat Vol.
Uji	Rata-rata	Rata-rata
(Mix)	(MPa)	(gram/cm ³)
CT	21.37	2.29
BU1	32.04	2.36
BU2	40.36	2.38
BU3	33.23	2.38
BU4	32.58	2.35
BU5	30.72	2.32
BU6	30.15	2.30



Gambar 11 Kuat tekan rata-rata umur 28 hari dan hubungan berat volume (14 molar)

Hasil pada Tabel. 12 dan Gambar 11 menunjukkan berat volume mortar mengalami peningkatan dengan bertambahnya jumlah serbuk *zeolit* pada bahan pengikat. Namun hasil kuat tekan mengalami penurunan dengan bertambahnya jumlah serbuk *zeolit*.

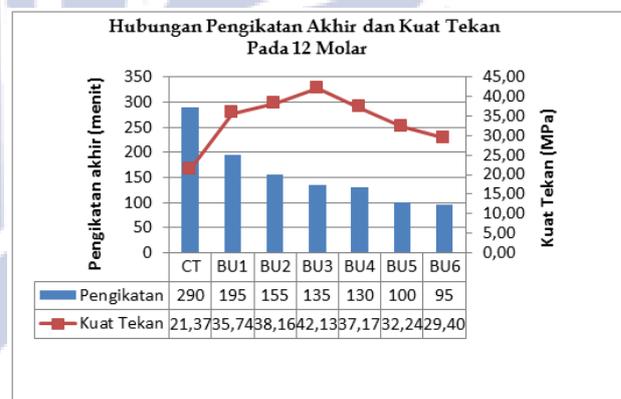
Hal ini dikarenakan berat jenis *zeolit* lebih tinggi dibandingkan dengan *fly ash* sehingga menyebabkan mortar semakin berat karena berat volume mortar tergantung dari berat volume agregat yang digunakan

dalam campuran. Hasil kuat tekan menunjukkan penurunan, hal ini disebabkan tingkat kehalusan bahan pengikat karena butiran serbuk *zeolit* yang terlalu besar menyebabkan adanya rongga dalam mortar sehingga mortar keropos dan dapat menurunkan nilai kuat tekannya.

Pengujian waktu pengikatan *geopolimer* dalam penelitian ini yaitu hasil uji kuat tekan rata-rata dan uji vicat akhir umur 28 hari. Berikut hasil pengujian yang didapat dalam pengetesan benda uji.

Tabel 13 Kuat tekan rata-rata dan waktu pengikatan akhir (12 molar)

Benda	Kuat Tekan	Pengikatan
Uji	Rata-rata	Akhir
(Mix)	(MPa)	(Menit)
CT	21.37	290
BU1	32.04	90
BU2	40.36	80
BU3	33.23	70
BU4	32.58	65
BU5	30.72	60
BU6	30.15	55

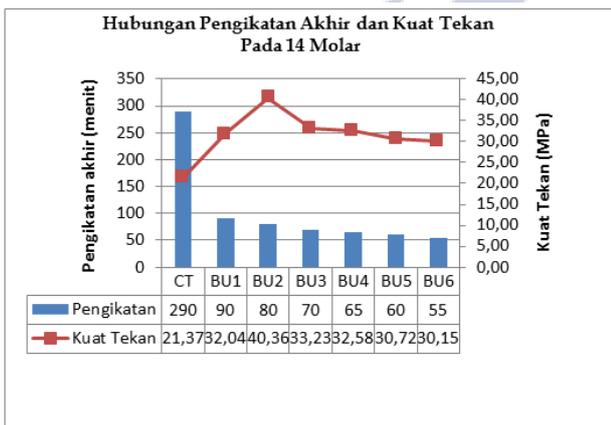


Gambar 12 Hubungan kuat tekan rata-rata dan *final setting time* umur 28 hari. (12 molar)

Hasil tabel 13 dan Gambar 12 menunjukkan hasil bahwa penambahan serbuk *zeolit* menyebabkan peningkatan kuat tekan dibandingkan dengan mortar O2 dengan bahan *fly ash* saja. Namun, semakin meningkatnya jumlah serbuk *zeolit* menyebabkan nilai kuat tekan menurun. pada waktu pengikatan menunjukkan hasil pasta dengan campuran serbuk *zeolit* mengalami penurunan waktu pengikatan dengan mortar *geopolimer* campuran *fly ash*. Waktu pengikatan semakin lambat dengan meningkatnya jumlah serbuk *zeolit* yang dicampurkan pada campuran mortar.

Tabel 14 Kuat tekan rata-rata dan waktu pengikatan akhir (14 molar)

Benda Uji	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)	Pengikatan Akhir (Menit)
CT	21.37	290
BU1	35.74	195
BU2	38.16	155
BU3	42.13	135
BU4	37.17	130
BU5	32.24	100
BU6	29.40	95



Gambar 13 Hubungan kuat tekan rata-rata dan final setting time mortar umur 28 hari (14 molar)

Tabel 14 dan Gambar 13 menunjukkan hasil bahwa penambahan serbuk *zeolit* menyebabkan peningkatan kuat tekan dibandingkan dengan mortar BU2 dengan bahan *fly ash* saja. Namun, semakin meningkatnya jumlah serbuk *zeolit* menyebabkan nilai kuat tekan menurun. Pada waktu pengikatan menunjukkan hasil pasta dengan campuran serbuk *zeolit* mengalami penurunan waktu pengikatan dari pada pasta *geopolimer* dengan bahan *fly ash*. Waktu pengikatan semakin lambat dengan meningkatnya jumlah serbuk *zeolit* yang dicampurkan pada campuran mortar.

Perbandingan susunan kimia semen *geopolimer* dan semen biasa dari hasil tes XRF yang didapatkan menunjukkan presentase bahan-bahan penyusun semen *geopolimer* yang dipakai dalam penelitian ini. Melalui hasil proses polimerisasi mortar dengan bahan *fly ash* dan serbuk *zeolit* yaitu:



Hasil polimerisasi di atas dapat diuraikan lagi menjadi susunan kimia yang terkandung dalam semen *geopolimer* melalui hasil tes XRF yang telah dilakukan pada bahan-bahan penyusun semen *geopolimer*.

Susunan kimia semen *geopolimer* yaitu.

$$CaO = 12,7 + 92,18 = 104,88\%$$

$$Na_2O = 40 + 9,25 = 49,25\%$$

$$Fe_2O_3 = 59,08 + 2,56\% = 61,64\%$$

$$SiO_2 = 17,9 + 2,3 + 30,5 = 50,7\%$$

$$Al_2O_3 = 4,8\%$$

Bahan penyusun semen *geopolimer* dibandingkan dengan bahan penyusun semen biasa yang terdapat pada Tabel 15 memiliki hasil sebagai berikut.

Tabel 15 perbedaan kimia semen *geopolimer* dan semen PC.

Oksida Semen <i>Geopolymer</i>	Persen (%)	Oksida Semen Gresik	Persen (%)
Kapur (CaO)	38,7	Kapur (CaO)	60-65
Silika (SiO ₂)	18,7	Silika (SiO ₂)	17-25
Besi (Fe ₂ O ₃)	22,7	Besi (Fe ₂ O ₃)	0,5-6
Alumina (Al ₂ O ₃)	1,8	Alumina (Al ₂ O ₃)	3-8
Na ₂ O	18,2	Magnesium (MgO)	0,5-4
		Sulfur (SO ₃)	1-2
		Potash (Na ₂ O + K ₂ O)	0,5-1

Hasil pada tabel. 15 menunjukkan perbandingan susunan semen *geopolimer* dan semen PC. Semen *geopolimer* mengandung lebih banyak silika, CaO, besi dan Na₂O dibandingkan semen PC lebih banyak terdapat kapur (CaO) dan silika (SiO₂). Reaksi kimia dari proses polimerisasi juga berbeda dengan reaksi hidrasi semen. Semen *geopolimer* pengikatannya melalui proses polimerisasi sedangkan semen biasa melalui proses hidrasi.

Penelitian menghasilkan data berupa campuran mortar BU3 yang menghasilkan paling optimal di molaritas 12M dan BU2 menunjukkan hasil yang optimal di molaritas 14M. Campuran mortar BU3 dengan molaritas 12M menghasilkan data kuat tekan paling optimal dengan tingkat workability yang paling tinggi. Bahan penyusun mortar BU3 dengan kandungan *zeolit* 10% dari keseluruhan bahan mortar. Penambahan *zeolit* sebesar 10% mendapat nilai yang optimal dibandingkan dengan campuran lainnya. Mortar BU2 dengan molaritas 14M menghasilkan nilai kuat tekan paling optimal dengan workability paling tinggi diantara yang lain. Bahan penyusun mortar BU2 terdapat 5% campuran *zeolit* dari total keseluruhan bahan penyusun mortar, penambahan 5% *zeolit* mendapatkan campuran yang optimal dibandingkan campuran lain di molaritas 14M. Penambahan volume serbuk *zeolit* mempengaruhi campuran kimia mortar *geopolimer*, prosentase jumlah *zeolit* yang semakin banyak menyebabkan kandungan CaO dalam benda uji bertambah besar yang mengakibatkan menurunnya kuat tekan mortar *geopolimer*. Mortar dengan prosentase 5% mendapatkan

workability yang paling optimal. Mortar *geopolimer* memiliki waktu setting time yang tinggi menyebabkan benda uji mortar segera langsung dicetak agar tidak mengeras sebelum dimasukkan kedalam cetakan.

PENUTUP

KESIMPULAN

Hasil penelitian dalam pembuatan benda uji mortar *geopolimer* dengan penggunaan *zeolit* pada 12 molar dan 14 molar dengan kondisi $W/S=0.35$ dapat disimpulkan bahwa:

1. Mortar *geopolimer* dengan campuran 12 molar mendapatkan nilai kuat tekan paling tinggi, dengan campuran 1 benda uji membutuhkan pasir seberat 343,75 gram, fly ash 112,5 gram, *zeolit* 12,5 gram, NaOH 26,75 gram dan Na_2SiO_3 40,125 gram. Mortar *geopolimer* campuran 14 molar dengan campuran 1 benda uji membutuhkan pasir seberat 343,75 gram, fly ash 118,75 gram, *zeolit* 6,25 gram, NaOH 27,25 gram dan Na_2SiO_3 40,875 gram.
2. Bahan *zeolit* berpengaruh pada benda uji mortar *geopolimer* yang dapat meningkatkan nilai kuat tekan mortar dengan campuran 10% *zeolit* kondisi 12 molar, nilai kuat tekan mortar pada 7 hari sebesar 25,59 MPa, 14 hari menjadi 38,71 MPa, dan 28 hari meningkat menjadi 42,13 MPa.
3. Nilai kuat tekan yang optimal dalam kondisi 14 Molar yaitu dengan campuran *zeolit* sebesar 5%, dengan nilai kuat tekan pada umur 7 hari sebesar 28,27 MPa, 14 hari sebesar 28,56 MPa, dan umur 28 hari sebesar 40,36 MPa.
4. Kuat tekan mortar konvensional mendapat hasil kuat tekan rata-rata sebesar 11,99 MPa dengan umur mortar 7 hari, umur mortar 14 hari sebesar 13,9 MPa, dan umur mortar 28 hari sebesar 21,37 MPa. Kuat tekan mortar *geopolimer* dengan kondisi 12 Molar campuran fly ash 100% mendapatkan nilai sebesar 12,00 MPa pada umur 7 hari, 23,75 MPa pada umur 14 hari, dan 35,74 MPa pada umur mortar 28 hari. Mortar *geopolimer* dengan kondisi 14 molar campuran fly ash 100% mendapatkan nilai sebesar 13,50 MPa pada umur 7 hari, 23,99 MPa pada umur 14 hari, dan 32,04 MPa pada umur mortar 28 hari. Kesimpulan data menunjukkan hasil kuat tekan mortar *geopolimer* lebih besar dari mortar konvensional.

Saran

Kesimpulan penelitian yang telah dilakukan, maka penulis merekomendasikan saran sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang pengaruh penggunaan *zeolit* terhadap mortar *geopolimer*.
2. Perlu dikaji ulang penelitian selanjutnya tentang kondisi W/S terhadap mortar *geopolimer*.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM Standard C39. 2005. *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimen*. West Conshocken.
- ASTM Standard C109/C 109M-02. 2003. *Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate*. West Conshocken.
- ASTM C 191-08. 2008. *Standard test methods for time of setting of hydraulic cement by vicat needle*. West Conshocken.
- Andoyo. 2006. "Pengaruh Penggunaan Abu Terbang (Fly ash) terhadap Kuat Tekan dan Resapan Air pada Mortar". Semarang: Universitas Negeri Semarang.
- Davidovits, J. 1999. "Chemistry of *Geopolimer* systems, terminology". In Proceedings of *Geopolimer '99* International Conferences, France.
- Febrianto, Ika. 2011. "Tinjauan Lentur dan Porositas Beton Dengan *Zeolit* Sebagai Bahan Tambah Dibanding *Zeolit* Sebagai Pengganti Semen Pada Campuran Semen
- Septia, P., 2011, Studi Literatur Pengaruh Konsentrasi NAOH dan Rasio NAOH: Na_2SiO_3 , Rasio Air/Prekursor, Suhu Curing, dan Jenis Prekursor Terhadap Kuat Tekan Beton *Geopolimer*, Skripsi, Universitas Indonesia.
- Subekti, Srie. 2009. "Ketahanan kuat tekan pasta geopolimer molaritas 8 mol dan 12 mol terhadap agresifitas NaCl". Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.