

Analisa Kuat Tekan Mortar Geopolimer dengan Pengikat *Fly Ash* dan *Zeolite* pada Molaritas 8M dan 10M Kondisi SS/SH = 1,5, W/S = 0,30

Eky Bagus Khoirysanto
Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya
ekybagus30@gmail.com

Arie Wardhono
Dosen Teknik Sipil, Universitas Negeri Surabaya
ariewardhono@unesa.ac.id

Abstrak

Kebutuhan akan beton dalam dunia konstruksi setiap tahunnya semakin meningkat, hal tersebut berbanding lurus dengan meningkatnya kebutuhan terhadap material pengikat pada campuran beton yaitu semen. Maka dari itu untuk menanggulangi kebutuhan semen yang semakin meningkat diperlukan alternatif beton tanpa penggunaan semen seperti beton *geopolymer*. Penelitian ini mempelajari tentang variasi campuran mortar pada beton *geopolymer* yang menggunakan *zeolite* dan *fly ash* sebagai pengganti semen dengan menggunakan molaritas 8M dan 10M dalam kondisi perbandingan *water/ solid* 0,30 dan *sodium silicat/ sodium hidroksida* 1,5.

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan kadar optimal *zeolite* dan *flyash* untuk mencapai kuat tekan tertinggi pada mortar *geopolymer*. Mortar diuji dan dirawat pada temperatur ruangan untuk diuji kuat tekan sesuai standar ASTM C 109, pengujian mortar pada umur 7, 14 dan 28 hari. Pengujian yang dilakukan adalah uji vicat berdasarkan standar ASTM C 191-08 untuk mengetahui pengikatan awal (*initial setting time*). Penelitian ini merupakan jenis penelitian eksperimen yang dilakukan di laboratorium beton Universitas negeri Surabaya.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengaruh *fly ash* dan zeolit pada benda uji mortar *geopolymer* menunjukkan peningkatan kekuatan tekan. Penggunaan zeolit optimal didapatkan pada variasi 5% dengan molaritas 10M menunjukkan peningkatan kuat tekan rata-rata mencapai 37,98 MPa dengan waktu pengikatan awal pada menit ke 60, dan berat pervolume sebesar 2,36 gram/cm³.

Kata Kunci: *Fly Ash, Geopolymer, Kuat Tekan, dan Zeolite*

Abstract

The need for concrete is increasing every year, this is directly proportional to the increasing demand for cement as a binding materials in concrete mixtures. Therefore, to reduce the used of cement, alternatives concretes are needed such as geopolymer concrete that no more cement needed. This study is studied the variation of mortar mixtures in geopolymer concrete using zeolite and fly ash as a substitute for cement that using 8M and 10M molarity in the ratio of water / solid to 0.30 and sodium silicat / sodium hydroxide 1.5.

This study aims to obtain optimal levels of zeolite and flyash to achieve the highest compressive strength in geopolymer mortar. Mortar was tested and treated at room temperature then tested for compressive strength according to ASTM C 109 standard, testing mortar was done by 7, 14 and 28 days. The tests that used were vicat test based on ASTM C 191-08 standard to find out the initial setting time. This research is a experimental research that conducted in the concrete laboratory of Universitas Negeri Surabaya.

The results showed that the effect of fly ash and zeolite on geopolymer mortar specimens showed an increase in compressive strength. The optimal use of zeolite was found in a variation of 5% with 10M molarity which showed an increase in compressive strength averaging 37.98 MPa with the initial binding time at 60 minutes, and pervolume weight of 2.36 grams / cm³.

Key words: *Fly Ash, Geopolymer, Compressive Strength, and Zeolite*

PENDAHULUAN

Pemakaian semen dibidang konstruksi sangatlah penting, utamanya dalam campuran beton. Proses pembuatan semen memberikan dampak negatif pada lingkungan, khususnya dalam proses produksinya yaitu pelepasan gas karbon dioksida (CO₂). Fakta mencengangkan bahwa dalam produksi setiap satu ton semen, rata-rata 0,87 ton emisi CO₂ dilepaskan ke udara bebas. Menurut International Energy Authority, produksi semen *portland* menyumbang 7% dari keseluruhan emisi karbon dioksida oleh manusia (Damtoft, 2008).

Upaya yang dilakukan merupakan bahan substitusi semen dengan pemanfaatan limbah industri semakin berkembang. Penelitian melibatkan perusahaan produksi semen melainkan dan juga para akademisi di perguruan tinggi. Beberapa hasil penelitian telah menemukan bahwa limbah industri seperti serbuk cangkang kerang dan abu terbang (*fly ash*) dapat dijadikan sebagai material pozolan dalam beton dan mortar (Metha, 1997).

Semen tidak akan lepas dari bahan dasar pembuatan beton. *Geopolymer* adalah bahan inorganik yang terdiri dari *Silikat* (Si) dan *Aluminium* (Al) sebagai material utama dan reaktan alkalin untuk pengikat. Selama ini bahan dasar pemakaian beton geopolimer yaitu *fly ash* (Davidovits, 2008).

Dalam penelitian mortar geopolimer kali ini dicoba bahan alternatif lain yaitu dengan zeolit yang dicampur dengan *fly ash* kelas C. Kandungan zeolit sendiri hampir sama dengan *flyash*, sehingga berpotensi untuk menjadi bahan material untuk campuran geopolimer selain itu beberapa daerah di Indonesia sendiri mempunyai cadangan material *zeolit* yang sangat besar. Dari hasil uji laboratorium bubuk zeolit mengandung beberapa senyawa diantaranya natrium (Na), magnesium (Mg), kalsium (Ca), mangan (Mn), dan silikat (Si) menurut Ika Febrianto (2011). Penelitian ini diharapkan diperoleh hasil mortar geopolimer yang setara atau lebih dari mortar yang menggunakan semen..

Geopolymer

Geopolymer dapat didefinisikan sebagai material yang dihasilkan dari geosintesis aluminosilikat polimerik dan alkali-silikat yang menghasilkan kerangka polimer SiO₂ dan Al₂O₃ yang terikat secara tetrahedral (Davidovits, 1994). *Geopolymer* memiliki komposisi kimia menyerupai zeolit tetapi memiliki amorphous microstructure. Beton *geopolymer* adalah beton yang dihasilkan dengan

sepenuhnya mengganti semen portland dengan material *geopolymer* (Davidovits, 2013).

Material Penyusun Geopolymer

Material polimerik anorganik alkali aluminosilikat (*Geopolymer*) dapat disintesis dengan mencampurkan prekursor dengan larutan alkali sebagai aktivator (Septia G, Pugar, 2011).

Dalam penelitian ini material prekursor yang digunakan yaitu *fly ash* dan serbuk zeolit.

Fly ash (abu terbang)

Fly ash adalah hasil pemisahan sisa pembakaran yang halus dari pembakaran batu bara yang dialirkan dari ruang pembakaran melalui ketel berupa semburan asap. Sekitar 75-90% abu yang keluar dari cerobong asap dapat ditangkap oleh system elektrostatis precipitator. Sisa yang lain didapat di dasar tungku (disebut *bottom ash*). Mutu *fly ash* tergantung pada kesempurnaan proses pembakarannya. Material ini mempunyai sifat pozzolanik. Kandungan *fly ash* sebagian besar terdiri dari silikat dioksida (SiO₂), aluminium (Al₂O₃), besi (Fe₂O₃), dan kalsium (CaO), serta magnesium, potassium, sodium, titanium, dan sulfur dalam jumlah yang lebih sedikit (Septia G, Pugar, 2011).

Zeolit

Zeolit adalah mineral kristal alumina silikat berpori terhidrat yang mempunyai struktur kerangka tiga dimensi terbentuk dari tetrahedral [SiO₄]⁴⁻ dan [AlO₄]⁵⁻. Kedua tetrahedral di atas dihubungkan oleh atom-atom oksigen, menghasilkan struktur tiga dimensi terbuka dan berongga yang didalamnya diisi oleh atom-atom logam biasanya logam-logam alkali atau alkali tanah dan molekul air yang dapat bergerak bebas (Breck, 1974; Chetam, 1992; Scot et al., 2003).

Alkaline activator

Aktivator merupakan zat atau unsur yang menyebabkan zat atau unsur lain bereaksi. Dalam pembuatan mortar *geopolymer* ini, aktivator yang digunakan adalah unsur alkali yang terhidrasi yaitu sodium hidroksida (NaOH) dan sodium silikat (Na₂SiO₃) (Hardjito et al, 2004).

Agregat Halus (Pasir)

Agregat halus berfungsi sebagai pengisi pori-pori dalam campuran adukan mortar. Agregat halus yang dipakai untuk campuran adukan pada mortar

harus memenuhi syarat yang ditetapkan oleh SNI 03-6820-2002 (2002:172).

Waktu Pengikatan (*Setting Time*)

Uji Vicat adalah untuk mengetahui kondisi konsistensi pengikatan awal dan akhir pada pasta dengan menggunakan alat vicat (Nugraha, Paul dan Antoni 2007). Kedua batasan waktu pengikatan dimaksudkan untuk menjamin bahwa beton atau mortor segar akan tetap bisa dikerjakan untuk waktu yang cukup untuk mampu diangkut, dituang dan dipadatkan. Alat Vicat yang digunakan sesuai dengan ASTM C-187.

Kuat Tekan mortar

Kuat tekan beton adalah besarnya beban maksimum persatuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan. Kuat tekan beton ditentukan oleh perbandingan semen, agregat halus, air, dan berbagai jenis bahan tambahan (Tjokrodimuljo, 1996). Langkah-langkah untuk pengujian kuat tekan mortar sesuai pada SNI 03-1974-1990 dan ASTM C109/C 109M-02.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini yang dilakukan menggunakan metode eksperimen yang dimana untuk mendapatkan data-data pengujian dilakukan di Laboratorium Beton Teknik Sipil Universitas Negeri Surabaya (UNESA). Pengujian yang dilakukan di laboratorium meliputi pengujian pengikatan awal dan akhir (Uji Vicat) dan pengujian kuat tekan.

Benda uji mortar geopolimer menggunakan perbandingan campuran *fly ash* dan zeolit dengan 5 variasi pada setiap molaritas 8M dan 10M. Pengujian dilakukan sesuai umur yang telah direncanakan yaitu 7, 14 dan 28 hari dengan menggunakan benda uji mortar yang berukuran 5 cm x 5 cm x 5 cm.

Prosedur pelaksanaan penelitian ini dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Tahap persiapan bahan dan peralatan
2. Tahap pembuatan larutan alkali aktivator dan uji bahan

Tahap pengujian bahan dilakukan terhadap bahan penyusun mortar yaitu agregat halus, *fly ash* dan serbuk zeolit

- a. Pengujian agregat halus dan : pemeriksaan gradasi, kadar lumpur, berat jenis, berat volume dan absorpsi.

- b. Pengujian *fly ash* dan serbuk zeolit yaitu pengujian XRF untuk mengetahui kandungan unsur kimia material.
3. Pembuatan *mix design*
4. Pengujian waktu pengikatan
5. Tahap pembuatan benda uji
 - a. Persiapan bahan
 - b. Persiapan alat
 - c. Pembuatan adukan mortar
 - d. Pencetakan
 - e. Pelepasan cetakan
 - f. Penamaan benda uji
6. Penimbangan benda uji
7. Pengujian kuat tekan benda uji
8. Tahap analisis data
9. Kesimpulan hasil penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Material

1. Pengujian *Fly ash*

Material *fly ash* yang dipakai yaitu kelas C, yang didapat dari CV. Dwi Mitra Surya yang berlokasi di Menganti, Gresik. Material *fly ash* tipe C diuji XRF (*X-Ray Fluorescence*) di Laboratorium Sentral Mineral dan Material Maju FMIPA Universitas Negeri Malang (UM) untuk mengetahui unsur-unsur kimia yang terkandung dalam *fly ash*. Berikut adalah hasil pengujian abu terbang (*fly ash*) menggunakan metode XRF dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Hasil Pengujian XRF *fly ash*

Coumpound	Conc (%)	Methods
Al2O3	4,8	XRF
SiO2	17,9	
SO3	0,89	
K2O	0,72	
CaO	12,7	
TiO2	0,94	
V2O5	0,02	
Cr2O3	0,11	
MnO	0,59	
Fe2O3	59,08	
NiO	0,13	
CuO	0,059	
Br	0,14	
Rb2O	0,2	
SrO	0,37	
BaO	0,49	
Eu2O3	0,58	
Re2O7	0,32	

2. Pengujian Serbuk Zeolit

Zeolit didapat dari tempat penggilingan bongkahan zeolit di Cv. Adi Water, zeolit yang didapat dari tempat penggilingan sudah berupa powder zeolit sehingga tidak perlu untuk dihaluskan kembali agar dapat digunakan sebagai bahan campuran mortar. Serbuk zeolit diuji XRF terlebih dahulu. Material zeolit diuji XRF (*X-Ray Fluorescence*) di Laboratorium Sentral Mineral dan Material Maju FMIPA Universitas Negeri Malang (UM) untuk mengetahui unsur-unsur kimia yang terkandung dalam serbuk zeolit, Hasil pengujian XRF dapat dilihat Tabel 2.

Tabel 2 Hasil Pengujian XRF Serbuk Zeolit

Coumpound	Conc (%)	Methods
Si	60,9	XRF
Al	8,7	
Fe	8,46	
Ca	11,7	
Cu	0,091	
Sr	0,85	
K	7,78	
Mn	0,12	
Ti	0,92	
Ba	0,3	
Eu	0,2	
V	0,03	

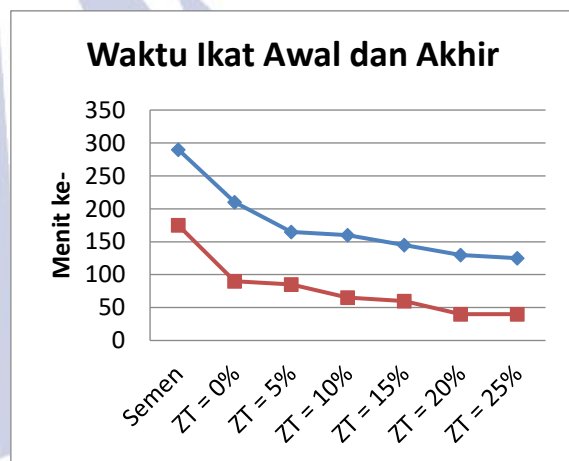
Waktu Pengikatan Pasta (*Setting Time*)

Waktu pengikatan (*setting time*) pada pasta dilakukan dengan menggunakan pengujian vikat tes. Pengujian waktu pengikatan (*setting time*) didapatkan data waktu pengikatan awal (*initial setting time*) Waktu ikat awal ditentukan dari grafik penetrasi waktu, yaitu waktu dimana penetrasi jarum vikat mencapai 25 mm dan waktu pengikatan akhir (*final setting time*). Berikut hasil pengujian vikat tes:

1. Molaritas 8 Molar

Tabel 3 Variasi waktu pengikatan awal dan akhir pasta semen dan pasta geopolimer 8M

Penurunan	Pengikatan Awal	Pengikatan Akhir
	Menit ke-	Menit ke-
Semen	175	290
ZT = 0%	90	210
ZT = 5%	85	165
ZT = 10%	65	160
ZT = 15%	60	145
ZT = 20%	40	130
ZT = 25%	40	125

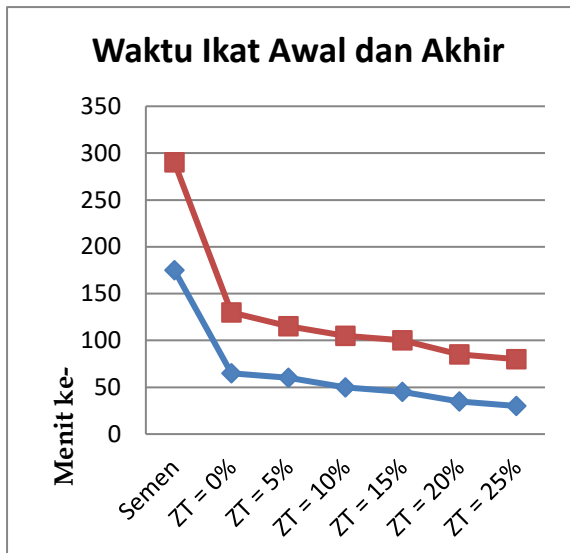


Gambar 1 Variasi hasil pengujian waktu pengikatan awal dan akhir pasta

2. 10 Molar

Tabel 4 Variasi waktu pengikatan awal dan akhir pasta semen dan pasta geopolimer 10M

Penurunan	Waktu Ikat	Waktu Ikat
	Awal	Akhir
	(Menit ke-)	(Menit ke-)
Semen	175	290
ZT = 0%	65	130
ZT = 5%	60	115
ZT = 10%	50	105
ZT = 15%	45	100
ZT = 20%	35	85
ZT = 25%	30	80



Gambar 2 Variasi hasil pengujian waktu pengikatan awal dan akhir pasta

Hasil menunjukkan bahwa waktu pengikatan lebih cepat ketika di-tambahkan serbuk zeolit pada bahan pengikat dibandingkan dengan pasta *geopolymer* berbahan *fly ash* saja. Penelitian lain oleh Nath and Sarker (2012) juga menunjukkan waktu pengikatan pasta *geopolymer fly ash* dipercepat dengan menambahkan slag dimana *slag* fungsinya sama dengan kerang yaitu sebagai CaO.

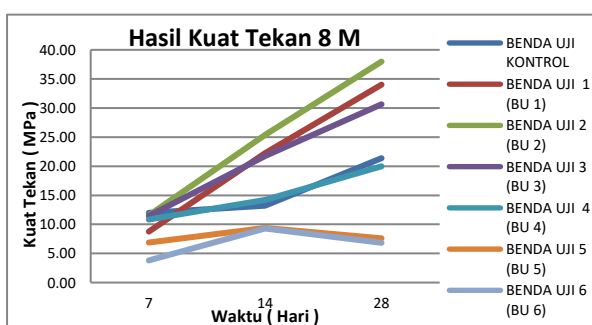
Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan mortar dilakukan pada umur mortar 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. Berikut hasil pengujian kuat tekan mortar :

1. Kuat tekan motar geopolimer molaritas 8 Molar

Tabel 5 Rata-rata variasi hasil kuat tekan mortar

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	8,76	11,55	11,45	10,83	6,88	3,80
14	13,19	22,25	25,35	21,75	14,18	9,39	9,29
28	21,37	34,02	37,98	30,64	19,98	7,58	6,83

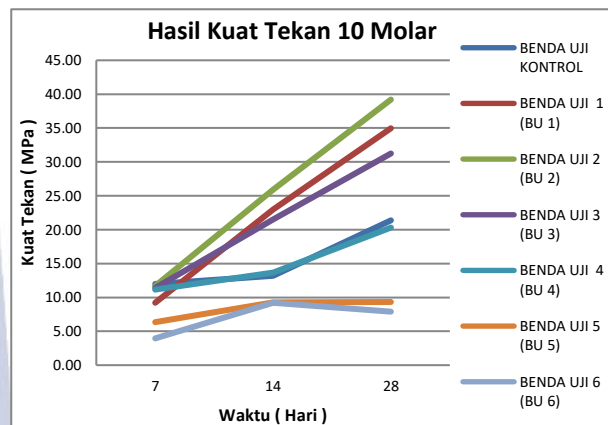


Gambar 3 Hubungan kuat tekan mortar dengan umur

2. Kuat tekan motar geopolimer molaritas 10 Molar

Tabel 6 Rata-rata variasi hasil kuat tekan beton

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	9,22	11,69	11,40	11,15	6,35	3,96
14	13,19	22,95	25,92	21,49	13,67	9,27	9,21
28	21,37	34,97	39,20	31,25	20,31	9,33	7,90



Gambar 4 Hubungan kuat tekan mortar dengan umur

Data dan garfik yang didapat dari perbandingan mortar geopolimer 8M dengan 10M dapat disimpulkan bahwa mortar geopolimer dengan konsentrasi NaOH 10M menghasilkan kuat tekan lebih tinggi dari pada mortar geopolimer dengan konsentrasi NaOH 8M. Hal ini sejalan dengan penelitian Januarti (2007) dimana penelitian ini menggunakan *fly ash* dan lumpur Porong sebagai bahan campuran *geopolymer* sebagai pengikat dan perawatan beton dilakukan pada suhu ruangan. Kadar molaritas semakin tinggi maka kuat tekan benda uji semakin tinggi juga hasilnya. Hasil penelitian Subekti (2009) menunjukkan juga bahwa pengaruh molaritas larutan sodium hidroksida dan rasio perbandingan antara $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$, apabila semakin tinggi maka akan didapatkan kuat tekan semakin tinggi pula.

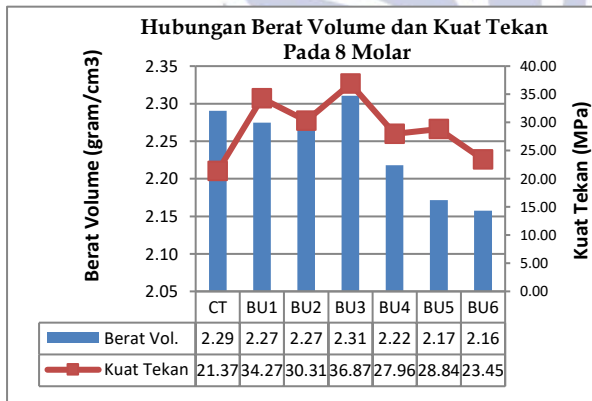
Hasil penelitian ini menyatakan bahwa rata-rata kuat tekan mortar geopolimer yang menggunakan konsentrasi NaOH 8M dan 10M mendapatkan kuat tekan tinggi, pada presentase 10% pemakaian *zeolite* sebagai bahan pengganti *fly ash* sebagai bahan campuran mortar. Hal ini sejalan pada penelitian Ika Febianto (2011) yang menyatakan bahwa hasil kuat lentur beton peling tinggi pada presentase 10% *zeolite* sebagai bahan penggantian semen.

Hubungan Berat Volume dan Kuat Tekan

Berdasarkan hasil grafik kuat tekan dan hubungan antara tabel berat volume dapat disimpulkan bahwa kandungan kalsium sangat berpengaruh dalam campuran. Hal ini juga diungkapkan Septian G, Pugar (2011) yang menyatakan bahwa kandung kalsium yang tinggi sangat mengganggu proses polimerisasi dan mengubah mikrostruktur.

Tabel 7 Hubungan Berat Volume dan Kuat Tekan

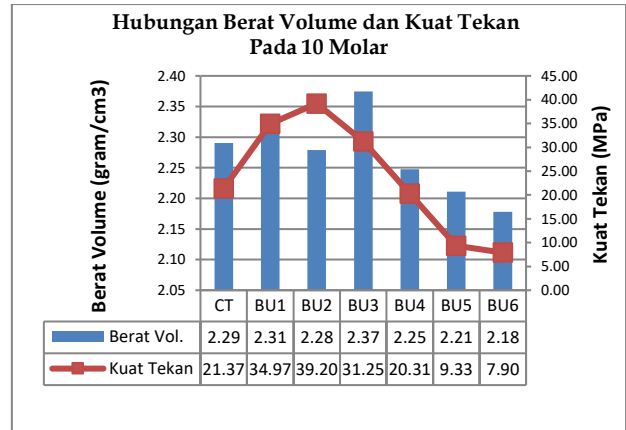
Benda	Kuat Tekan	Berat Vol.
Uji	Rata-rata	Rata-rata
(Mix)	(MPa)	(gram/cm ³)
CT	21,37	2,29
BU1	34,02	2,31
BU2	37,98	2,36
BU3	30,64	2,36
BU4	19,98	2,27
BU5	7,58	2,23
BU6	6,83	2,19



Gambar 5 Hubungan Berat volume dan Kuat Tekan mortar Geopolimer 8M

Tabel 8 Hubungan Berat Volume dan Kuat Tekan

Benda	Kuat Tekan	Berat Vol.
Uji	Rata-rata	Rata-rata
(Mix)	(MPa)	(gram/cm ³)
CT	21,37	290
BU1	34,97	130
BU2	39,20	115
BU3	31,25	105
BU4	20,31	100
BU5	9,33	85
BU6	7,90	80



Gambar 6 Hubungan Berat volume dan Kuat Tekan mortar Geopolimer 10M

SIMPULAN

1. Desain campuran mortar *geopolymer* mempunyai nilai kuat tekan tertinggi pada 8 molar dengan *Zeolite* 10% sebagai bahan pengganti *Fly Ash*, jumlah campuran untuk satu benda uji menggunakan pasir 343,75 g, *Fly Ash* 112,5 g, *Zeolite* 12,5 g, NaOH 26,5 g dan Na₂SiO₃ 40,125 g. Sedangkan pada 10 molar dengan *Zeolite* 5% sebagai bahan pengganti *Fly Ash*, jumlah campuran untuk satu benda menggunakan pasir 343,75 g, *Fly Ash* 118,75 g, *Zeolite* 6,25 g, NaOH 25,875 g dan Na₂SiO₃ 38,875 g.
2. Pengaruh *Zeolite* pada benda uji mortar *geopolymer* adalah dapat meningkatkan kuat tekan menggunakan *Zeolite* dengan variasi 5% untuk 8 molar pada umur mortar 7 hari dengan kuat tekan rata-rata 11,55 MPa dan umur 14 hari naik menjadi 25,35 MPa, dan umur 28 hari meningkat menjadi 37,98 MPa. Pada variasi 5% untuk 10 molar pada umur mortar 7 hari dengan kuat tekan rata-rata 11,69 MPa dan umur 14 hari naik menjadi 25,92 MPa, dan umur 28 hari meningkat menjadi 39,20 MPa.
3. Hasil kuat tekan mortar *geopolymer* dengan mortar konvensional adalah mortar konvensional mendapatkan kuat tekan pada umur mortar 7 hari dengan kuat tekan rata-rata sebesar 11,99 MPa dan umur 14 hari naik menjadi 13,19 MPa, dan umur 28 hari meningkat menjadi 21,37 Mpa. Pada mortar *Geopolymer* 8 molar 100% *Fly Ash* ketika umur mortar 7 hari kuat tekan rata-rata 8,76 MPa dan umur 14 hari naik menjadi 22,25 MPa, dan umur 28 hari meningkat menjadi 34,02 MPa, dan pada mortar *Geopolymer* kondisi 10 molar

100% *Fly Ash* mendapatkan kuat tekan pada umur 7 hari dengan kuat tekan rata-rata 9,22 MPa dan umur 14 hari naik menjadi 22,95 MPa, dan umur 28 hari meningkat menjadi 34,97 MPa. Berdasarkan hasil diperoleh hasil kuat tekan mortar *geopolymer* lebih tinggi dari mortar konvensional.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM C 618-1994, 1994, Use of Fly Ash in Specific Application, United States.
- ASTM Standard C39. 2005. Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimen. 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.
- Badan Standardisasi Nasional, SNI 03-1974-1990. 1990. Metode Pengujian Kuat Tekan Beton. Bandung
- Davidovits, J. 1999. "Chemistry of Geopolymer systems, terminology". In Proceedings of Geopolymer '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.
- Mehta, P.K. 1997. "Durability-critical issue for the future". ACI concrete International, Vol 19, pp. 27-33
- Manuaha, Riger. 2014. "Kuat Tekan Beton Geopolymer Berbahan Dasar Abu Terbang (*fly ash*)". Jurusan Teknik Sipil Universitas Samratulangi.
- Pujianto, As'at dkk, 2013. "Kuat Tekan Beton Geopolimer Dengan Bahan Utama Bubuk Lumpur Lapindo dan Kapur". Yogyakarta: Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Septia, P., 2011, Studi Literatur Pengaruh Konsentrasi NaOH dan Rasio
- NAOH:Na₂SiO₃, Rasio Air/Prekursor, Suhu Curing, dan Jenis Prekursor Terhadap Kuat Tekan Beton Geopolimer, Skripsi, Universitas Indonesia.
- Septia, P. (2011). Studi Literatur Pengaruh Konsentrasi NaOH dan Rasio NaOH:Na₂SiO₃, Rasio Air/ Prekursor, Suhu Curing, Dan Jenis Prekursor Terhadap Kuat Tekan Beton Geopolimer, Skripsi, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
- Subekti, Srie. 2009. "Ketahanan kuat tekan pasta geopolimer molaritas 8 mol dan 12 mol terhadap agresifitas NaCl". Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Sutikno. 2013. *Teknologi Beton*. Surabaya: Jurusan Teknik Sipil Universitas Negeri Surabaya.
- Tjokrodinuljo, Kardiyono. 1996. "Teknologi Beton". Yogyakarta: Jurusan Teknik Sipil Universitas Gajah Mada.
- Triwulan., Ekaputri, Jaya Juniarti., dan Adiningtyas, Tami. 2007. "Analisa Sifat Mekanik Beton Geopolimer Berbahan Dasar *Fly ash* dan Lumpur Porong Kering Sebagai Pengisi". Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Wardhono, Arie, David W. Law, dan Thomas C. K. Molyneaux. 2012. "Strength of Alkali Activated Slag and Fly Ash-based Geopolymer Mortar". Japan: Japan Concrete Institute.