

PERANCANGAN MORTAR GEOPOLIMER ABU SEKAM

Januar Fitri¹⁾, Monita Olivia²⁾, Iskandar Romey S.²⁾

¹⁾Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

²⁾Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

Kampus Bina Widya J. HR Soebrantas KM 12,5 Pekanbaru, Kode Pos 28293

Email : Januar.Fitri@gmail.com

Abstract

This study present about geopolymer mortar with rice husk ash (RHA) as binder. Both material are used their silica element were activated by alkaline solution. Alkaline solution was prepared by combining sodium silicate and sodium hydroxide of 18 M. Compressive strength of geopolymer mortar that was studied based variation of modulus activator, dosage activator, curing time, and curing temperature. Research showed that optimum mix proportion of geopolymer mortar with Rice Husk Ash (RHA) which result the optimum compressive strength. The ratio of sodium silicate solution to sodium hydroxide solution by mass was 2.5:1. The mass ratio of alkaline solution to blended ashes was 9:10. Test specimens 5×5×5 cm cube were prepared and cured at room temperature (28°C) for 3 days and heat-cured at 70°C for 24 hours. The speciemens were cured at room temperature for 7 days until testing date. Result from this research represents compressive strength the mortar as according to variation molar of sodium hydroxide and used a little addition of water.

Keywords: Rice Husk Ash, Geopolymer, Alkali Activator, dosage activator.

A. PENDAHULUAN

A.1 Latar belakang

Beberapa dekade terakhir, kota-kota besar di dunia telah dipenuhi oleh bangunan-bangunan beton dan infrastruktur yang memanfaatkan teknologi beton. Berkembang pesatnya teknologi beton bagi pembangunan infrastruktur di era modern berarti juga meningkatnya manufaktur semen (Susilorini dan Suryoatmono, 2007).

Olivia (2011) menjelaskan bahwa produksi Ordinary Portland Cement (OPC) memberikan kontribusi sekitar 7-10% dari total karbon dioksida (CO₂) secara global, dan telah ditemukan bahwa satu ton OPC yang diproduksi akan melepaskan satu ton CO₂ ke atmosfer. Emisi karbon yang tinggi sangat berkontribusi terhadap pemanasan global dan perubahan iklim (Olivia, 2011).

Upaya pengurangan pemakaian semen dapat dilakukan dengan memanfaatkan pozzolan sebagai campuran beton, salah satunya yaitu penggunaan abu sekam padi yang merupakan salah satu material geopolimer. Penggunaan abu sekam padi ini akan mengurangi limbah pada produksi padi.

Bakri (2008) menjelaskan bahwa penggunaan bahan pengganti semen dengan komposisi campuran yang inovatif akan mengurangi jumlah semen yang digunakan

sehingga secara ekologis dapat mengurangi emisi gas-gas rumah kaca dan penggunaan konsumsi energi fosil bumi pada industri semen.

A.2 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengkaji kuat tekan mortar yang menggunakan abu sekam padi pada umur 7 hari dengan variasi suhu dan alkali activator yang digunakan.
2. Mengetahui karakteristik kandungan abu sekam padi.
3. Mengkaji faktor – faktor yang mempengaruhi geopolimer.

B. TINJAUAN PUSTAKA

B.1 Mortar Geopolimer

Mortar adalah suatu campuran yang terdiri dari semen, agregat halus dan air baik dalam keadaan dikeraskan ataupun tidak dikeraskan (SNI 15-2049-2004). Sedangkan Geopolimer merupakan bahan anorganik yang dikembangkan oleh Davidovits, seorang ilmuwan Perancis. Pada tahun 1978,

Davidovits mengemukakan bahwa larutan alkali dapat digunakan untuk mereaksikan silicon (Si) dan aluminium (Al) yang terdapat pada sumber material alami atau buangan hasil sampingan industry seperti abu terbang dan abu sekam menjadi sebuah binder, yaitu suatu bahan yang memiliki sifat seperti semen.

B.2 Material Penyusun Mortar Geopolimer

B.2.1 Abu Sekam Padi

Abu Sekam padi (RHA) adalah produk sampingan dari pembakaran sekam padi. Abu sekam padi (RHA) ini merupakan produk yang berpotensi besar untuk dimanfaatkan sebagai konstruksi dan bangunan bahan. Kandungan silika yang tinggi (> 80 wt.%) menjadikan abu sekam padi sebagai sumber potensi bahan untuk menghasilkan geopolimer (Part *et al.*, 2015). Abu sekam padi yang digunakan pada penelitian ini adalah abu sekam yang lolos saringan no.200.



Gambar 1. Abu Sekam lolos Saringan no. 200
Sumber: Dokumentasi Penelitian, 2015

B.2.2 Larutan Aktivator

Pada umumnya, larutan alkali yang digunakan dalam geopolimerisasi adalah kombinasi dari natrium hidroksida (NaOH) atau potassium hidroksida (KOH) dengan natrium silikat atau potassium silikat (Hardjito dan Rangan, 2005). Dari beberapa penelitian geopolimer, diketahui bahwa penggunaan campuran NaOH dan natrium silikat sebagai larutan alkali aktivator menghasilkan kekuatan yang terbaik (Adam, 2009). Pada penelitian ini digunakan kombinasi NaOH dan natrium silikat sebagai larutan activator.

B.2.3 Agregat Halus

Agregat halus adalah agregat yang semua butirannya menembus ayakan berlubang 4,75 mm. Agregat halus yang digunakan sebaiknya adalah agregat yang telah memenuhi standar yang berlaku (ASTM C33,1982).

B.2.4 Air

Air dalam campuran mortar geopolimer lebih sedikit penggunaannya dibandingkan dengan mortar biasa. Penggunaan air dalam campuran geopolimer yang tidak terlalu banyak akan menghasilkan kuat tekan mortar yang tinggi. Pengurangan jumlah air ini berdampak pada rendahnya tingkat *workability* yang berakibat sulitnya proses pengadukan dan pencetakan.

B.2.5 Bahan Tambah

Penggunaan air dalam campuran mortar geopolimer yang sedikit sangat berpengaruh terhadap kemudahan pengerjaan (*workability*). Untuk itu digunakan bahan tambah kimia yang dapat mengurangi jumlah air dan meningkatkan *workability*. Jenis bahan tambah kimia ini dapat berupa *superplastisizer*. Jenis *superplastisizer* yang terdapat dipasaran adalah jenis *Sikament-NN*. Dosis yang digunakan biasanya berkisar antar 1%-2% dari berat binder.

B.3 Faktor-Faktor yang mempengaruhi Geopolimer

B.3.1 Bahan Dasar

Bahan dasar yang digunakan pada geopolimer sangat mempengaruhi sifat geopolimer yang dihasilkan (Nazari *et al.*, 2012). Bahan dasar geopolimer merupakan pozzolan. Pozzolan merupakan bahan yang mengandung senyawa silikon dan aluminium yang memiliki sedikit atau tidak sama sekali sifat seperti semen, namun pada keadaan halus dan kondisi lembab, bereaksi dengan kalsium hidroksida dan membentuk suatu campuran yang memiliki sifat perekat seperti semen (Maholtra dan Mehta, 1996). Tingkat kehalusan bahan dasar sangat mempengaruhi reaksi pozzolan. Semakin halus bahan dasar yang digunakan, maka akan semakin reaktif dalam proses geopolimerisasi.

B.3.2 Suhu Perawatan

Suhu pada saat proses perawatan (*curing*) berpengaruh terhadap kuat tekan. Suhu yang lebih tinggi menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi. Reaksi geopolimer akan cepat seiring penambahan suhu. Penelitian terdahulu menyatakan bahwa hasil yang diperoleh dari perawatan suhu oven menunjukkan bahwa suhu dapat meningkatkan kuat tekan (Chindaprasirt *et al.*, 2007).

B.3.3 Waktu Perawatan

Waktu perawatan berpengaruh terhadap kuat tekan yang dihasilkan. Penelitian yang dilakukan oleh Hardjito dan Rangan (2005) menunjukkan bahwa semakin lama perawatan maka kuat tekan beton semakin tinggi.

B.3.3 Larutan Aktivator

Jenis alkali aktivator yang sering digunakan dan mudah di dapatkan adalah larutan natrium hidroksida (NaOH) dan larutan natrium silikat (Na_2SiO_3). Modulus aktivator merupakan perbandingan massa SiO_2 dan Na_2O pada larutan alkali aktivator. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa dosis aktivator menunjukkan peningkatan kuat tekan yang drastis seiring meningkatnya konsentrasi hingga mencapai konsentrasi optimum. Setelah melewati konsentrasi maksimum, kekuatan tidak terlalu meningkat kemudian mengalami penurunan (Putri, 2013).

C. METODOLOGI PENELITIAN

C.1 Persiapan Penelitian

Pada tahap ini dilakukan analisis pendahuluan terhadap abu sekam padi (*Rice Husk Ash*) dan analisa material yang digunakan. Analisis yang dilakukan terhadap abu sekam padi adalah analisis kandungan kimia untuk mengetahui karakteristik kimia dari abu sekam tersebut.

Analisis material yang dilakukan terhadap bahan pembuat mortar geopolimer yaitu agregat halus (pasir) didapat melalui hasil dari pengujian karakteristik agregat halus, yaitu pengujian analisa saringan, pengujian berat volume, pengujian berat jenis, pengujian kadar air, pengujian kadar lumpur, dan pengujian kadar organik agregat halus.

C.2 Pelaksanaan Penelitian

Pada tahap ini dilakukan pembuatan mortar geopolimer abu sekam dengan dimensi 5x5x5cm. Pembuatan mortar geopolimer dilakukan terhadap 9 *mix design*. Larutan alkali yang digunakan adalah kombinasi dari Natrium Hidroksida (NaOH) dan Natrium Silikat (Na_2SiO_3). NaOH yang digunakan adalah NaOH 18M dan Na_2SiO_3 2,3 mol.

Bahan-bahan penyusun mortar geopolimer abu sekam diperoleh dengan perhitungan berdasarkan perbandingan sesuai tabel berikut.

Tabel 1. Mix Design Mortar geopolimer Abu Sekam

Trial	NaSiO_3 /NaOH	Alkali/ Abu	Waktu perawatan (jam)	Suhu perawatan ($^{\circ}\text{C}$)
T1	1,5	0,3	8	25
T2	1,5	0,35	12	70
T3	1,5	0,4	24	90
T4	2	0,3	12	90
T5	2	0,35	24	25
T6	2	0,4	8	70
T7	2,5	0,3	24	70
T8	2,5	0,35	8	90
T9	2,5	0,4	12	25

Sumber : Data Penelitian, 2015

Proses pencampuran dilakukan dengan mencampur bahan kering (abu sekam dan agregat halus) dan aktivator alkali secara manual. Bahan-bahan kering dicampur lebih dulu kemudian larutan alkali (natrium silikat, natrium hidroksida, air) dituangkan sedikit demi sedikit dan dicampur terus menerus sampai campuran dapat dikombinasikan dengan baik membentuk mortar segar dan siap untuk di cetak.

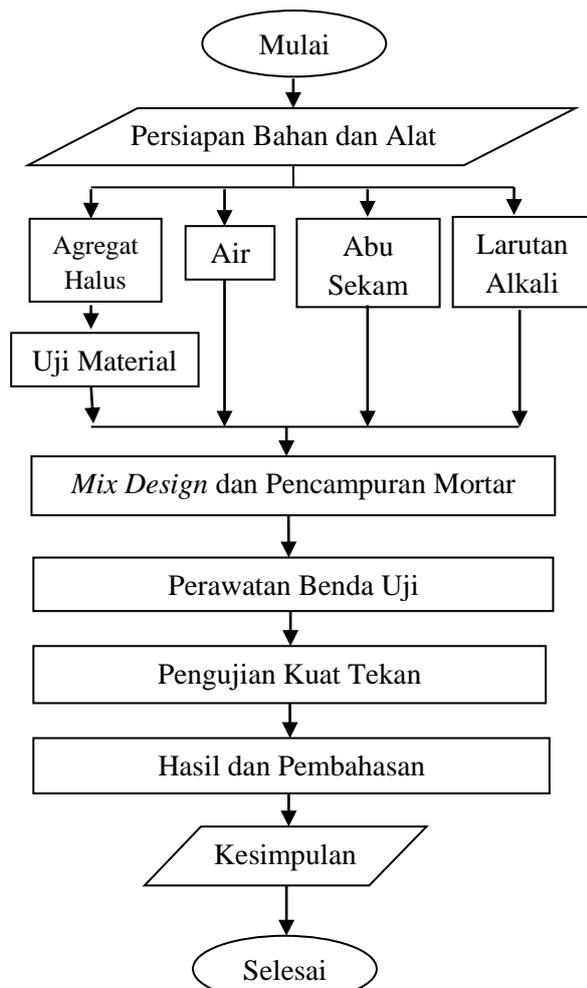
Rest Period untuk mortar geopolimer ini adalah 3 hari dan perawatan mortar dilakukan dengan mengoven sesuai suhu dan waktu yang telah ditentukan. Setelah perawatan, mortar dibiarkan di suhu ruang hingga umur pengujian.

C.3 Tahap Pengujian

Pada tahap ini dilakukan pengujian mortar geopolimer abu sekam sesuai umur rencana yaitu 7 hari. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian kuat tekan untuk mengetahui ketahanan. Setiap variasi memiliki 3 buah benda uji, kemudian data kuat tekan diolah dengan merata-ratakan ketiga hasil benda uji tersebut.



Gambar 2. Pengujian Kuat Tekan Mortar
Sumber: Dokumentasi Penelitian, 2015



Gambar 3. Bagan Alir Penelitian

D. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

D.1 Analisis Karakteristik Abu Sekam

Tabel 2. Komposisi Kimia Abu Sekam

Parameter	% Berat
Silikon dioksida (SiO ₂)	88,96
Aluminium oksida (Al ₂ O ₃)	1,48
Feroksida (Fe ₂ O ₃)	0,24
Kalsium oksida (CaO)	1,31
Magnesium oksida (MgO)	0,68
Natrium oksida (Na ₂ O)	0,07
Pottasium oksida (K ₂ O)	1,18
Sulfur trioksid (SO ₃)	0,44
Kadar air	2,32

Sumber: Balai Riset dan Standarisasi Industri Padang

Dari tabel 3 diketahui bahwa abu sekam padi dari Air Tiris memiliki kandungan silika yang sangat tinggi, yaitu sebesar 88,96% dan cocok digunakan sebagai bahan dasar penyusun mortar geopolimer. Kandungan

kimia abu sekam ini memperlihatkan bahwa abu sekam telah memenuhi syarat kimia pozzolan, sehingga dapat digunakan sebagai bahan dalam pembuatan mortar geopolimer.

D.2 Analisis Propertis Pasir

D.2.1 Ukuran Partikel Pasir

Pengujian analisa saringan menghasilkan modulus kehalusan sebesar 2,83. Hal ini telah memenuhi standar spesifikasi modulus kehalusan untuk agregat halus pada SNI-03-1968-1990 yaitu sebesar 1,5 - 3,8. Dengan demikian agregat halus ini dapat digunakan sebagai material pembentuk mortar. Dari hasil pemeriksaan ukuran butiran pasir yang dilakukan menunjukkan sebagian besar hasil ayakan berada pada range grafik gradasi dan batas gradasi agregat halus zona 2.

D.2.2 Analisis Kandungan Lumpur pasir

Kadar lumpur agregat halus sebesar 4,12% telah memenuhi standar spesifikasi kadar lumpur yaitu <5% sehingga agregat ini dapat digunakan sebagai material pembentuk mortar. Lumpur yang menempel pada permukaan agregat menandakan kandungan lempung atau kotoran pada agregat yang dapat menghalangi terjadinya lekatan antara agregat dan pasta. Pengujian kadar lumpur dihitung dengan perbandingan antara tinggi pasir dan tinggi lumpur.

D.2.3 Analisis Kandungan Organik Pasir

Pengujian kadar organik dilakukan dengan memasukkan sampel pasir ke dalam wadah bening dan mencampurkan larutan NaOH sebanyak 3%. Hasil pengujian kadar organik agregat halus yang diperoleh adalah warna no.2. Hal ini telah memenuhi standar spesifikasi dengan syarat yang minimal warna yang dihasilkan yaitu nomor 3 berdasarkan SNI 03-2816-1992.

D.2.4 Analisis Kadar Air Pasir

Pemeriksaan kadar air pasir dilakukan dalam kondisi SSD. Hasil kadar air agregat halus sebesar 4,11% telah memenuhi standar spesifikasi kadar air pada SNI 03-1971-1990, yaitu 3% - 5% sehingga agregat ini dapat digunakan sebagai material pembentuk mortar. Kadar air menandakan kandungan air yang terdapat pada agregat.

D.2.5 Analisis Berat Jenis dan Berat Volume Pasir

Tabel 3. Hasil Pemeriksaan Berat Jenis dan Berat Volume

Analisis	Kondisi SSD
Berat Jenis	2,60 kg/dm ³
Berat Isi Padat	1,76 kg/dm ³
Berat Isi Gembur	1,58 kg/dm ³

Sumber : Hasil Analisis laboratorium, 2015

Hasil pemeriksaan terhadap berat jenis dan berat volume pasir telah memenuhi standar spesifikasi SNI 03-1969-1990 (berat jenis) dan SNI 03-4804-1998 (berat volume).

D.3 Hasil Pengujian Mortar Geopolimer Abu Sekam

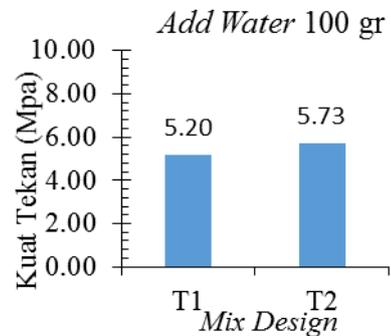
D.3.1 Jumlah Larutan Alkali Aktivator

Pada Pengujian ini dilakukan perubahan jumlah larutan alkali aktivator karena pada saat pencampuran tidak terbentuk campuran mortar segar dalam bentuk pasta. Campuran yang dihasilkan terlalu kering, Sehingga dilakukan perubahan jumlah larutan alkali aktivator yang digunakan. Jumlah larutan alkali aktivator dikali 3 dari komposisi semula mengikuti penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Putri (2013) sehingga rasio larutan alkali dan abu sekam berubah menjadi 0,9, 1,05, dan 1,2. Saat pengadukan, campuran yang dihasilkan masih kering dan belum membentuk campuran mortar segar. Oleh karena itu, dilakukan beberapa modifikasi kembali terhadap jumlah air (*add water*) yang digunakan.

D.3.2 Variasi *Add Water*

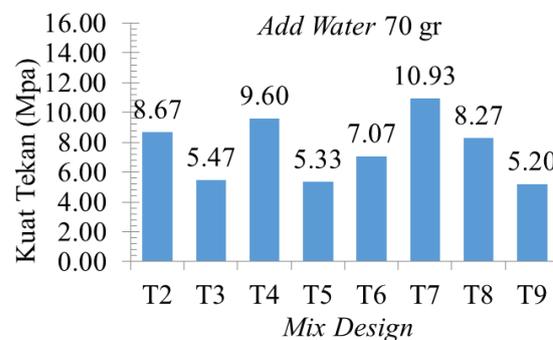
Pada Pengujian ini dilakukan Variasi penambahan air. Variasi penambahan air yaitu sebanyak 100 gr, 70 gr, dan jumlah air yang dikali 2 dari komposisi semula. Pencampuran ini dilakukan karena campuran yang masih kering dan membutuhkan waktu yang lama untuk membentuk campuran mortar segar. Pada variasi penambahan air ini, NaOH yang digunakan adalah NaOH 14M dan jumlah alkali dikali 3 dari komposisi semula. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 7 hari. Hasil yang didapat yaitu campuran mortar segar yang tidak terlalu kering maupun cair pada penambahan air menjadi dua kali dari

perhitungan awal. Semakin sedikit jumlah air yang digunakan maka akan semakin tinggi kuat tekan yang dihasilkan. Hasil variasi *add water* yang diperoleh dapat dilihat pada gambar 4 dan gambar 5.



Gambar 4. Grafik Hasil Kuat Tekan Variasi *Add Water* 100 gr

Variasi *Add Water* 100 gr dilakukan pada campuran T1 dan T2, namun hasil kuat tekan yang didapat masih sangat rendah meskipun perawatan yang dilakukan yang dilakukan sudah mulai pada perawatan suhu yang tinggi, yaitu pada suhu 70°C. Oleh karena itu, untuk campuran selanjutnya dilakukan pengurangan jumlah air menjadi 70 gr.



Gambar 5. Grafik Hasil Kuat Tekan Variasi *Add Water* 70 gr

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa variasi *Add Water* 70 gr yang dilakukan menghasilkan kuat tekan yang tinggi pada campuran T7. Namun, kuat tekan yang dihasilkan masih rendah.

Variasi *add water* selanjutnya dilakukan pada campuran T7 dengan penambahan air yang dikali 2 dari komposisi semula. Hasil kuat tekan yang didapat masih rendah, yaitu sebesar 11,73 MPa. Oleh karena

itu, perlu dilakukan variasi terhadap larutan NaOH yang digunakan.

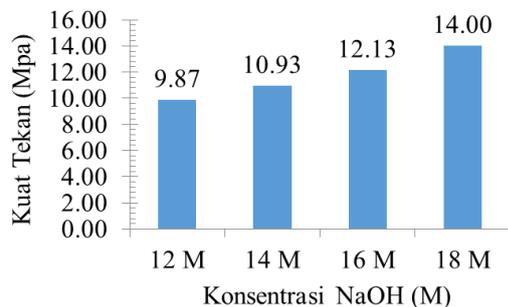
D.3.3 Variasi Natrium Hidroksida (NaOH)

Pada pengujian ini dilakukan variasi molar NaOH yaitu 10M, 12 M, 14M, 16M untuk campuran T7. Semakin tinggi nilai molar NaOH maka makin banyaknya ketersediaan ion OH⁻ untuk bereaksi dengan Si dan Al. Tingginya jumlah molar yang digunakan maka kuat tekan yang dihasilkan akan semakin tinggi. Hasil yang diperoleh dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Hasil Kuat Tekan Variasi Molar NaOH

Nomor Benda Uji	Kuat Tekan (MPa) Variasi Molar NaOH			
	12M	14M	16M	18M
1	9,6	12	12,8	14,8
2	10,8	11,2	10,4	14
3	9,2	12	12,8	13,2
Rerata	9,87	11,73	12,00	14,00

Sumber : Data Penelitian



Gambar 6. Grafik Hasil Kuat Tekan Variasi M NaOH

Dari tabel dan grafik diatas, dapat disimpulkan bahwa campuran yang menggunakan larutan NaOH 18 M memiliki kuat tekan yang tinggi. Maka, untuk 9 campuran ini digunakan larutan NaOH 18 M.

D.3.4 Mix Design

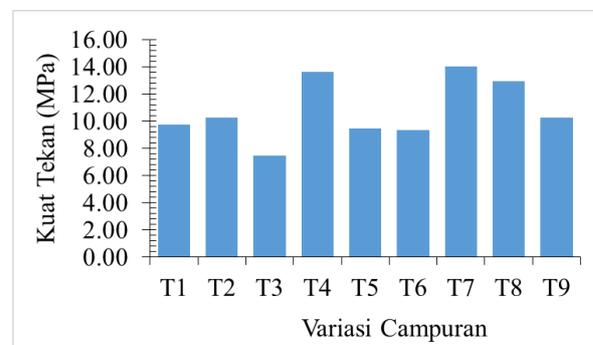
Dengan pengujian variasi yang dilakukan, maka komposisi mortar geopolimer menggunakan NaOH 18M, jumlah alkali yang dikali 3, dan jumlah air yang dikali 2 dari komposisi sebelumnya, Pengujian kuat tekan dilakukan pada saat mortar geopolimer berumur 7 hari pada 9 mix design untuk melihat perbedaan dari hasil yang didapatkan.

Hasil kuat tekan yang dihasilkan dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5. Hasil Pengujian Kuat Tekan Mix Design

Trial	NaSiO ₃ /NaOH	Ms	Waktu (jam)	Suhu (°C)	Kuat Tekan (MPa)
T1	1,5	0,9	8	25	9,73
T2	1,5	1,05	12	70	10,27
T3	1,5	1,2	24	90	7,47
T4	2	0,9	12	90	13,60
T5	2	1,05	24	25	10,00
T6	2	1,2	8	70	9,33
T7	2,5	0,9	24	70	14,00
T8	2,5	1,05	8	90	12,93
T9	2,5	1,2	12	25	10,27

Sumber : Data Penelitian, 2015



Gambar 7. Grafik Hasil Pengujian Kuat Tekan Variasi Campuran

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa kuat tekan mortar geopolimer tertinggi adalah pada variasi campuran T7 sebesar 14 MPa dengan rasio Ms 2,5, rasio larutan alkali dan abu sekam 0,9, dan perawatan suhu 70°C selama 24 jam. Sedangkan Kuat tekan terendah adalah variasi campuran T3 sebesar 7,47 MPa dengan rasio Ms 1,5, rasio larutan alkali dan abu sekam 1,2, dan perawatan suhu 90°C selama 24 jam.

Untuk pengujian kuat tekan umur 7 hari, suhu terlalu tinggi dan terlalu rendah tidak terlalu baik untuk mortar geopolimer abu sekam. Waktu perawatan oven yang paling baik untuk mortar geopolimer abu sekam ini adalah selama 24 jam. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya, bahwa semakin lama perawatan maka kuat tekan beton semakin tinggi (Hardjito dan Rangan, 2005).

E. KESIMPULAN DAN SARAN

E.1 Kesimpulan

1. Abu sekam padi merupakan salah satu material yang memiliki sifat pozzolan karena memiliki kandungan silika yang sangat tinggi.
2. Kuat tekan mortar geopolimer abu sekam dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti variasi NaOH yang digunakan, rasio Natrium Silikat dan NaOH, rasio larutan alkali dan abu sekam, suhu perawatan, dan waktu perawatan.
3. Kuat tekan tertinggi pada umur pengujian 7 hari didapat pada campuran dengan rasio Natrium Silikat dan NaOH 2,5, rasio larutan alkali dan abu sekam 0,9, dan perawatan suhu 70°C selama 24 jam.
4. Peningkatan molar NaOH yang digunakan dalam campuran geopolimer abu sekam akan meningkatkan kuat tekan mortar geopolimer.
5. Waktu perawatan oven yang paling baik untuk mortar geopolimer abu sekam ini adalah selama 24 jam.

E.2 Saran

1. Perlu adanya pengujian tambahan untuk mengetahui karakteristik mortar geopolimer abu sekam serta umur pengujian yang lebih lama agar hasil penelitian lebih lengkap.
2. Pembuatan mortar sebaiknya dilakukan dalam satu adukan untuk memperoleh hasil yang seragam.
3. Perlu adanya penelitian lanjutan dengan menggunakan abu sekam yang diambil dari beberapa tempat yang berbeda.
4. Perlu adanya penelitian lanjutan mengenai durabilitas mortar geopolimer abu sekam di lingkungan asam.

DAFTAR PUSTAKA

Adam, A. A. 2009. *Strength and durability properties of alkali activated slag and fly ash-based geopolimer concrete*. PhD Thesis of Civil, Environmental and Chemical Engineering. Melbourne: RMIT University.

ASTM C 33, 1982. *Standard Specification for Concrete Aggregates*. American Society for Testing and Material. West Conshohocken, PA: ASTM International.

ASTM C 642. 2006. *Standard Test Methods Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete*. United States: ASTM.

Bakri. 2008. *Komponen Kimia dan Fisik Abu Sekam Padi Sebagai Scm Untuk Pembuatan Komposit Semen*. perennial, 5, 9-14.

Chindaprasirt, P. et al. 2007. *Sulfate resistance of blended cements containing fly ash and rice husk ash*. *Construction and Building Materials*, 21(6), 1356-1361.

Davidovits, J. 1994. *Properties of geopolimer cements*. *Proceedings First International Conference on Alkaline Cements and Concretes*. 131-149.

Hardjito, D. dan Rangan, B.V. 2005. *Development and Properties of Low-Calcium Fly Ash Based Geopolimer Concrete*. Research Report GC1 Faculty of Engineering. Perth : Curtin University of Technology.

Maholtra, V. M., & Mehta, P. K. 1996. *Pozzolan and Cementitious Materials*. Taylor & Francis.

Nazari, A., et al. 2012. *Production geopolymers by Portland cement: Designing the main parameters ' effects on compressive strength by Taguchi method*. *Journal of Materials & Design*, 41, 43-49.

Olivia, M. 2011. *Durability related properties of low calcium fly ash based geopolimer concrete*. Tesis Sarjana School of Civil and Mechanical Engineering Department of Civil Engineering. Perth : Curtin University of Technology.

Part, W. et al. 2015. *An overview on the influence of various factors on the properties of geopolimer concrete derived from industrial by-products*. *Construction and Building Materials*, 77, 370-395.

Putri, W.A.H. 2013. *Karakteristik Mortar Geopolimer Abu Sawit*. Skripsi Sarjana, Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil, Universitas Riau, Pekanbaru.

Riahi, S. et al. 2012. *Compressive strength of ash-based geopolymers at early ages designed*

by Taguchi method. *Materials & Design*, 37, 443-449.

SNI 03-1968-1990. 1990. *Metode Pengujian Tentang Analisis Sarungan Agregat Halus Dan Kasar.* Bandung: Badan Standarisasi Nasional.

SNI 03-1970-1990. 1990. *Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus.* Bandung: Badan Standarisasi Nasional.

SNI 03-1971-1990. 1990. *Metode Pengujian Kadar Air Agregat.* Bandung: Badan Standarisasi Nasional.

SNI 03-2816-1992. 1990. *Metode Pengujian Kotoran Organik Dalam Pasir untuk Campuran Mortar atau Beton.* Bandung: Badan Standarisasi Nasional.

SNI 03-6825-2002. 2002. *Metode Pengujian Kekuatan Tekan Moertar Semen Portland untuk Pekerjaan Sipil.* Bandung: Badan Standarisasi Nasional.

Suprasman, & Ermiyati. 2006. *Kuat Tekan mortar dengan Penambahan Abu Sekam Padi Sebagai Pengganti Sebagian semen.* SPEKTRUM, 4(2), 1693-9573.

Susilorini, R., & Suryoatmono, B. 2007. *Trass, Masa Depan Bagi Pozolan Alam Sebagai Agregat Alternatif Untuk Campuran Beton.*