PENGARUH KONSENTRASI NaOH TERHADAP KUAT TEKAN MORTAR GEOPOLIMER ABU TERBANG DENGAN PERAWATAN SUHU RUANG

Niko Rizaldi[1)], Edy Saputra[2)], Monita Olivia[3)]
[1)]Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau
[2)]Dosen Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Riau
[3)]Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau
Kampus Bina Widya J. HR Soebrantas KM 12,5 Pekanbaru, Kode Pos 28293
Email: niko.rizaldi@student.unri.ac.id

ABSTRACT

Geopolymers are environmental friendly construction materials derived from industrial wastes such as fly ash. The use of geopolymers can reduce the use of cement, therefore reducing world carbon emissions. Polymeric bonding in geopolymer fly ash can be activated using alkaline solutions namely Sodium silicate and Sodium hydroxide (NaOH). This study used fly ash from Padang, West Sumatra. The purpose of this study was to examine the effect of the use of fly ash and Sodium hydroxide on the compressive strength of geopolymer mortar. The research method began with the test of the characteristics of fly ash and fine aggregate. Then the fly ash was added to the cement paste with the various concentrations of 8M, 10M, 12M, 14M and 16M NaOH. The size of mold used was the cube of 5 cm x 5 cm x 5 cm. The compressive strength test of mortar was carried out on 7, 14, 28 days of mortar age. The results of this study indicated that the fly ash reacted with NaOH and the compressive strength of mortar geopolymer was influenced by NaOH concentration. The compressive strength of mortar geopolymer showed an increase on specimens that contained 8M, 10M and 12M NaOH. For example, for the use of specimen with 12M NaOH, there was an increased of compressive strength of 16,7% compared to that of specimen with 8M NaOH. On other hand, the compressive strength of specimen containing 14M NaOH and 16M NaOH decreased by 19,6% and 73,21% respectively, compared to that of specimen containing 12M NaOH. The conclusion of this study was the optimum compressive strength occurred on specimens that contained 12M NaOH by 11,2 MPa.

Keywords*: compressive strength, fly ash, geopolymer, mortar, NaOH concentration*

A. PENDAHULUAN

A.1 Latar Belakang

Emisi gas karbon dioksida (CO_2) merupakan masalah serius yang menyebabkan efek dari rumah kaca atau pemanasalan global. Industri semen sebagai material konstruksi turut menyumbang 7% emisi gas karbon dioksida dunia. Guna meminimalisir penggunaan material semen, maka didesain campuran dengan beton atau mortar dengan material pengganti (Ramezanianpour, 2014).

Pada tahun 1994, Professor Joseph Dovidovits mengembangkan sebuah penelitian material perekat pengganti semen yang dikenal dengan istilah geopolimer. Bahan utama dari geopolimer menggunakan limbah hasil industri yang kaya dengan silika dan alumina. Pengaktifan kedua senyawa tersebut menggunakan larutan aktivator seperti NaOH (*Sodium hidroksida*) dan Na_2SiO_3 (*Sodium silikat*).

Berdasarkan catatan Kementerian Lingkungan Hidup (KLH) tahun 2006, limbah abu terbang mencapai 52,2 ton/hari. Diperkirakan produksi ini akan terus meningkat, jika tidak ada penanganan khusus. Abu terbang / *fly ash* (FA) merupakan salah satu limbah industri penggunaan batu bara yang kaya silika dan alumina. Hal ini mengisyaratkan abu

terbang dapat menjadi bahan geopolimer (Olivia, 2015).

A.2 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengkaji karakteristik kandungan abu terbang.
2. Mengkaji kuat tekan geopolimer abu terbang dengan variasi konsentrasi NaOH.

B. TINJAUAN PUSTAKA

B.1 Geopolimer Abu Terbang

Geopolimer merupakan proses polimerasi dari larutan alkali dengan material limbah industri yang kaya dengan silika dan alumina (Davidovits, 1994).

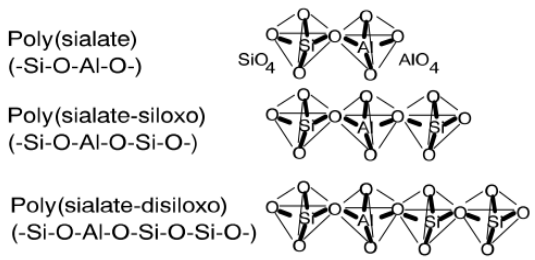
Reaksi geopolimer merupakan reaksi bermacam oksidasi aluminasilikat dengan larutan silikat serta menghasilkan ikatan polimerik yang disebut *poly(sialate)*. *Sialate* merupakan singkatan dari *silicon-oxo-aluminate*. Jaringan *sialate* adalah hubungan *tetrahedral* SiO_4 dan AlO_4 yang berbagi oksigen secara bergantian.

Rumus emipiris *poly(sialate)* adalah:

$$Mn\{-(SiO_2)z-AlO_2\}n, wH2O$$

dimana M adalah kation seperti *potassium* (K^+), *sodium* (Na^+) atau *kalsium* (Ca^{2+}), n adalah derajat *polikondensasi*, z adalah 1, 2, atau 3.

Rantai *poly(sialate)* Si^{4+} dan Al^{3+} dengan oksigen hanya terbentuk pada *range* silikat yang bersifat amorf hingga semi kristal seperti limbah industri abu terbang (Davidovits, 1994). Bentuk rantai *poly(sialate)* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Tipe *Poly(sialate)* dan Hubungan Konfigurasinya
Sumber: Davidovits (1994)

Pada penelitian ini geopolimer abu terbang didesain dalam bentuk mortar. Mortar merupakan campuran yang terdiri dari semen, agregat halus dan air (SNI 15-2049-2004). Fungsi mortar adalah menambah lekatan dan ketahanan ikatan dengan bagian-bagian penyusun konstruksi.

Ukuran mortar adalah kubus kecil dengan dimensi sisi 50 mm. Spesifikasi mortar dibagi menjadi empat tipe yang disajikan pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Spesifikasi Mortar

Tipe Mortar	Kuat Tekan Minimum	Aplikasi
Mortar tipe M	17,2 Mpa (kuat tekan tinggi)	-Dinding dekat tanah -Adukan pipa air kotor -Adukan dinding penahan tanah -Adukan untuk jalan
Mortar tipe S	12,4 Mpa (kuat tekan sedang)	-Bila tidak diisyaratkan menggunakan tipe M tetapi diperlukan daya rekat tinggi serta adanya gaya samping
Mortar tipe N	5,2 Mpa (kuat tekan rendah)	-Untuk pasangan dinding terlindung dan tidak menahan beban, serta tidak ada persyaratan mengenai kekuatan
Mortar tipe O	2,5 Mpa (kuat tekan rendah)	-Untuk konstruksi dinding yang tidak menahan beban lebih dari 7 kg/cm^2, dan gangguan cuaca

Sumber: SNI 03-6882-2002

B.2 Bahan Penyusun Mortar Geopolimer Abu Terbang

B.2.1 Abu Terbang

Abu terbang merupakan material halus yang berasal dari pembakaran batu bara pada pembangkit listrik maupun industri lainnya. Kandungan abu terbang terdiri dari silika, alumina, besi dan beberapa kalsium. Abu terbang dari berbagai tempat mempunyai mineral, sifat kimia dan fisik yang berbeda (Olivia, 2011). Oleh karena itu, perencanaan geopolimer-pun berbeda-beda.

Secara umum abu terbang terdiri dari dua tipe menurut ASTM, yaitu kelas C (abu terbang tinggi kalsium) dan kelas F (abu terbang rendah kalsium). Jika kandungan

CaO pada abu terbang lebih dari 20% maka digolongkan abu terbang kelas C. Sedangkan kelas F, kandungan CaO rendah dari 20% bahkan 10% (Hardjito & Rangan, 2005).

Abu terbang kelas F lebih banyak dijumpai pada limbah industri pembakaran batu bara. Secara fisik abu terbang kelas F memiliki warna abu-abu gelap dan lebih banyak mengandung silikat dan alumina hingga 85% (Hardjito, 2005).

Pada penelitian ini, abu terbang yang digunakan berasal dari PT. PLTU Ombilin Padang. Limbah abu terbang dari industri tersebut cukup besar sekitar 400 ton/hari (Fatiha et al., 2004). Abu terbang yang digunakan lolos saringan no. 200 dengan diameter 0,75 mm.

B.2.2 Agregat Halus

Agregat halus atau pasir merupakan material yang butirnya lolos saringan no.4 dengan diameter 4.75 mm. Kuantitas dari agregat tergantung dari ratio agregat dengan binder (Adam, 2009). Berdasarkan ASTM C109 dan penelitian terdahulu massa ratio minimum agregat dengan binder adalah 2,75 (Olivia et al., 2016). Binder merupakan material perekat seperti semen.

Pada penelitian ini agregat halus yang digunakan berasal dari Sungai Pagar, Kampar. Sebelum digunakan agregat halus dikeringkan permukaannya dengan cara dijemur sekitar 6 jam. Perlakukan agregat halus ini dikenal dengan istilah kondisi *Saturated Surface Dry* (SSD).

B.2.3 Larutan Alkali Aktivator

Larutan alkali aktivator merupakan kombinasi *Sodium silikat* (Na_2SiO_3) dan *Sodium hidroksida* (NaOH). Larutan aktivator sangat berpengaruh untuk menghasilkan kekuatan terbaik, oleh karena itu diperlukan kombinasi yang sesuai. (Adam, 2009)

Larutan *Sodium silikat* yang digunakan berasal dari PT. Sinar Sakti Kimia. Larutan ini memiliki mol ratio 2,3 yang terdiri dari senyawa *solid* SiO_2 dan Na_2O sebanyak 31,95% dan 14.33% serta air sebanyak 53,72% lebih rinci disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Propertis dari *Sodium silikat*

Parameter Uji	Satuan	Hasil Analisis
SiO_2	%	31,95
Na_2O	%	14,33
Total Solid	%	46,28
Mol Ratio		2,30
Density	Gr/mL	1,55
Baume	Be	52

Larutan *Sodium silikat* (Na_2SiO_3) memiliki viskositas tinggi yang berpengaruh selama pencampuran geopolimer. *Sodium silikat* berfungsi sebagai *katalis* yaitu mempercepat reaksi polimerasi. Selain itu, *Sodium silikat* juga berguna sebagai perekat antara material lain sehingga membantu dalam pembentukan pasta (Olivia & Nikraz, 2011).

Larutan *Sodium hidroksida* yang digunakan pada penelitian ini bervariasi yaitu 8M, 10M, 12M, 14M dan 16M. Beberapa penelitian terdahulu banyak menggunakan konsentrasi NaOH 14M diantaranya Hardjito (2005), Adam (2009), Olivia (2011) dan Nath (2015). Namun peneliti lainnya, menemukan konsentrasi NaOH optimum adalah 12M (Al Bakri et al., 2012), sedangkan Syarif et al., (2016) menggunakan konsentrasi NaOH 16M. Oleh karena itu, perlu dilakukan peninjauan kembali konsentrasi NaOH optimum terhadap geopolimer abu terbang terkhusus dari PT. PLTU Ombilin Padang.

Larutan *Sodium hidroksida* (NaOH) berfungsi mereaksikan unsur silika dan alumina yang terkandung dalam abu terbang sehingga terbentuk ikatan polimerik (*polysialate*) yang kuat. Anion OH^- diperlukan untuk pemutusan rantai silika dan alumina pada abu terbang, sehingga membentuk ikatan Si-OH dan Al-OH yang disebut *sialate*. Sedangkan kation Na^+ akan bereaksi dan membentuk rantai *poly(sialate)*. Secara teori ikatan polimerik

akan semakin kuat dengan meningkatnya konsentrasi NaOH (Olivia et al., 2016).

B.2.4 Air

Standar air yang digunakan dalam campuran mortar atau beton harus bebas dari bahan perusak seperti oli, asam, alkali, garam dan sebagainya. Air dalam campuran geopolimer abu terbang dirancang tidak terlalu banyak, karena air pada larutan alkali juga sudah cukup untuk menghasilkan ikatan polimerik. Menurut Adam (2009), intensitas penggunaan air terhadap solid alkali (w/s) pada geopolimer berkisar antara 0,37 – 0,66. Pada penelitian ini ratio air dan solid alkali yang digunakan adalah 0,60.

B.2.5 Tambahan Semen OPC

Tambahan semen tipe 1 atau *ordinary portlan cement* (OPC) bertujuan untuk perawatan geopolimer abu terbang pada suhu ruang. Proses pengerasan mortar geopolimer abu terbang berbeda dengan pengerasan mortar normal yang menggunakan semen. Jika pengerasan mortar normal menghasilkan panas ke lingkungan (*eksotermis*) maka untuk mengimbanginya proses panas hidrasi dilakukan perawatan (*curing*) di dalam air.

Proses hidrasi mortar geopolimer abu terbang bertindak sebaliknya yaitu menghasilkan panas ke dalam sistem, sedangkan lingkungan menjadi dingin (*endoderms*). Oleh karena itu laju perkerasan atau hidrasi dapat ditingkatkan dengan perawatan suhu tinggi atau dengan menambahkan kapur sebagai ganti panas hidrasi (Fan et al., 2018). Pada penelitian ini kapur yang digunakan berasal dari semen OPC karena semen ini bersifat *pure* kalsium tanpa tambahan lain zat lain.

B.2.6 *Superplasticizier*

Superplasticizier adalah bahan tambah yang digunakan sebagai salah satu cara meningkatkan kemudahan dalam pelaksanaan pengerjaan (*workability*). Selain itu, penggunaan *superplasticizier* berguna untuk mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu dan meningkatkan nilai slump.

Pada penelitia ini *superplasticizier* yang digunakan adalah Sikament-NN dengan dosis yang disarankan adalah 1,5% dari berat abu terbang (Olivia & Nikraz, 2011).

C. METODOLOGI PENELITIAN

C.1 Persiapan Penelitian

Pada tahap ini dilakukan pemeriksaan karakteristik material. Abu Terbang dianalisis di Balai Riset dan Standarisasi Padang. Sedangkan pengujian agregat halus dilakukan di Laboratorium Bahan Bangunan, Teknik Sipil, Universitas Riau.

C.2 Pelaksanaan Penelitian

Pada tahap ini dilakukan pembuatan mortar geopolimer abu terbang dengan dimensi yang telah ditetapkan. Material penyusun mortar geopolimer disiapkan sesuai ketentuan nilai ratio binder : pasir adalah 1 : 3, ratio air/solid alkali adalah 0,60, ratio modulus aktivator (Na_2SiO_3/NaOH) adalah 1, penambahan semen sebanyak 15% dari berat abu terbang. Selain itu ratio larutan alkali/abu terbang juga ditetapkan 0,95.

Variasi hanya dilakukan pada konsentrasi NaOH yaitu 8M, 10M, 12M, 14M dan 16M. Hal ini berguna untuk melihat pengaruh konsentrasi NaOH pada mortar geopolimer abu terbang.

Pencampuran mortar geopolimer abu terbang dilakukan menggunakan alat *mixer* mortar. Penggunaan alat ini untuk mengurangi ketidakmerataan berbagai bahan campuran selama pengadukan. Campuran diaduk selama lima menit, kemudian dicetak dalam *mould* mortar.

Pada Tabel 3 disajikan nilai kuantitas campuran geopolimer abu terbang yang dirancang pada penelitian ini.

Tabel 3. Kuantitas Campuran Geopolimer Abu Terbang

Material Penyusun	Kuantitas	Satuan
Abu Terbang	321,85	kg/m^3
Agregat Halus	1727,39	kg/m^3

Sodium hidroksida	152,88	kg/m^3
Sodium silikat	152,88	kg/m^3
Air*	80,00	kg/m^3
Superplasticizer	4,83	kg/m^3
Tambahan Semen OPC	48,28	kg/m^3

*kuantitas air berubah sesuai konsentrasi NaOH

C.2 *Rest Periode* dan Perawatan Suhu Ruang

Reaksi polimerik biasanya berlangsung lama yaitu 0 sampai 5 hari. Oleh karena itu diperlukan *rest periode* agar sampel mortar menyatu dan mengeras sebelum dibuka cetakan.

Berdasarkan penelitian Djwantoro Hardjito & Rangan (2005), *rest periode* optimum terjadi selama 3 hari. Setelah 3 hari campuran geopolimer dapat dilepas dari catakan. Selanjutnya, perawatan sampel mortar dilakukan pada suhu ruang sekitar 24-27 ºC.

C.3 Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan mengidentifikasikan mutu dari sebuah struktur. Semakin tinggi kuat tekan maka semakin tinggi pula kekokohan struktur tersebut. Standar kuat tekan mortar mengacu kepada ASTM C109M-02 dan dimana kuat tekan adalah besarnya beban per satuan luas hingga menyebabkan sampel hancur. Rumus kuat tekan mortar adalah:

$$f'c = \frac{P}{A} \quad (1)$$

dimana:

f'c = kuat tekan (MPa)
P = beban maksimum (N)
A = luas penampang (mm^2)

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

D.1 Karakteristik Abu Terbang

Tabel 4. Karakteristik Abu Terbang

Parameter Uji	Satuan	Hasil Analisis
SiO_2	%	51,8
Al_2O_3	%	26,85
Fe_2O_3	%	5,08
CaO	%	1,95
MgO	%	0,72

Berdasarkan data Balai Riset dan Standardisasi Industri Padang (2018), kadar $SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$ lebih dari 70%. Disisi lain kadar CaO kurang dari 10%, hal ini mengisyaratkan abu terbang yang berasal PT. PLTU Ombilin Padang adalah kelas F.

Tampak visual abu terbang dapat dilihat pada Gambar 2. Pada gambar ini terlihat abu terbang berwarna abu-abu gelap.

Gambar 2. Tampak Visual Abu Terbang

D.2 Hasil Karakteristik Agregat Halus

Data hasil pemeriksaan karakteristik agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.

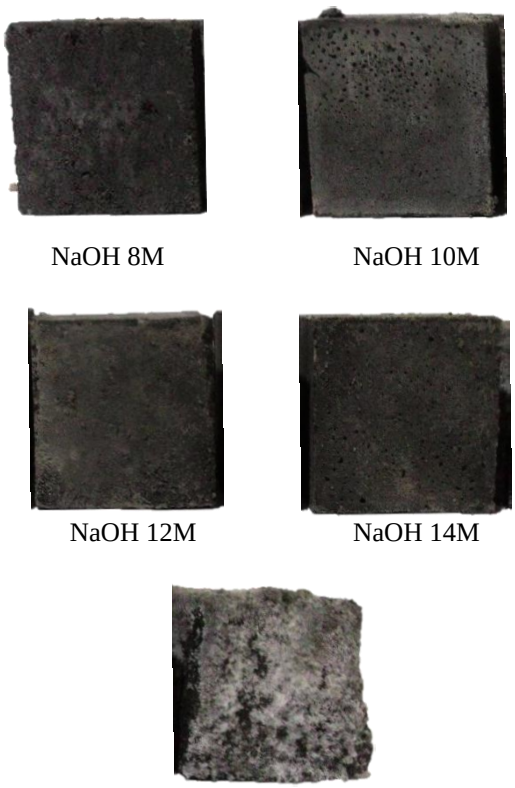
Tabel 5. Karakteristik Agregat Halus

Jenis Pemeriksaan	Hasil Pengujian	Keterangan
Kadar lumpur (%)	0,1	OK
Berat jenis (g/cm^3)		
a. *Apparent spesific gravity*	2,71	OK
b. *Bulk spesific gravity on dry*	2,47	Tidak OK
c. *Bulk spesific gravity on SSD*	2,56	Tidak OK
d. Absorption	3,62	OK
Kadar air (%)	1,01	OK
Modulus kehalusan	3,35	OK
Berat volume (g/cm^3)		
a. Kondisi padat	1,50	OK
b. Kondisi gembur	1,31	Tidak OK
Kadar Organik	No. 3	OK

Secara keseluruhun agregat halus berkarakteristik baik dan memenuhi standar yang telah ditetapkan. Oleh karena itu, penggunaan agregat halus tetap digunakan pada penelitian ini.

D.3 Tampak Visual Mortar Geopolimer Abu Terbang

Tampak visual mortar geopolimer abu terbang dapat dilihat pada Gambar 3. Pada gambar ini terlihap pengaruh dari konsentrasi NaOH mempengaruhi visual dari mortar geopolimer abu terbang.



Gambar 3. Tampak Visual Geopolimer dengan Variasi Konsentrasi NaOH

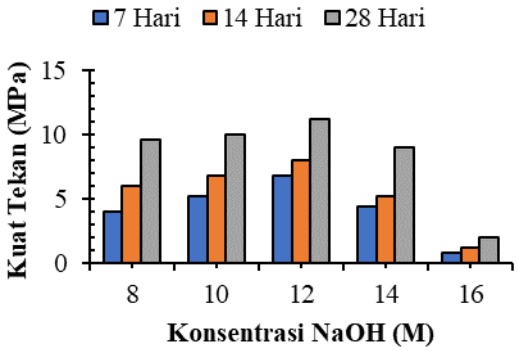
Secara visual, Secara visual, warna tiap mortar geopolimer Gambar 3 terlihat berbeda satu sama lainnya. Mortar konsentrasi NaOH 8M, 14M dan 16M merupakan mortar yang bercorak gelap. Sedangkan mortar NaOH 10M dan 12M terlihat lebih terang. Faktor warna visual gelap mengindikasikan reaksi pengerasan masih terjadi, dan mortar belum dalam keadaan kering (Mustafa et al., 2011).

Bentuk fisik tiap mortar geopolimer juga berbeda, dapat dilihat pada Gambar 3. Mortar dengan konsentrasi NaOH 8M terdapat rekahan, sedangkan mortar konsentrasi NaOH 10M dan 14M memiliki pori cukup besar. Lain hal dengan mortar NaOH 16M, bentuknya diselimuti kristal yang disebabkan oleh konsentrasi NaOH berlebih. Berdasarkan analisis visual, mortar dengan konsentrasi NaOH 12M paling bagus daripada yang lainnya.

D.4 Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar

Pengujian kuat tekan mortar geopolimer abu terbang dilakukan mulai hari ke-7, 14 dan 28. Secara umum kuat tekan akan selalu meningkat pada hari-hari tersebut (Olivia, 2014).

Perubahan kuat tekan mortar geopolimer abu terbang dengan perawatan suhu ruang dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Pengaruh Kuat Tekan terhadap Konsentrasi NaOH

Berdasarkan Gambar 4 terlihat kuat tekan mortar geopolimer abu terbang mengalami kenaikan dari pengujian 7 hari, 14 hari dan 28 hari. Selaras dengan itu, mortar geopolimer abu terbang juga mengalami kenaikan kuat tekan dari konsentrasi NaOH 8M hingga 12M.

Namun, kuat tekan mengalami penurunan dari konsentrasi NaOH 14M hingga 16M. Hal ini dikarenakan, kadar konsentrasi tersebut telah melebihi batas optimum penggunaan ion Na^+ dan OH^- dalam pembentukan ikatan *poly(sialate)*. Dari penelitian ini ditemukan bahwa konsentrasi NaOH optimum terjadi pada 12M sebesar 11,2 MPa.

E. PENUTUP

E.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan yang dilakukan terhadap

penelitian mortar geopolimer abu terbang dengan perawatan suhu ruang, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Abu terbang PT. PLTU Ombilin Padang bersifat rendah kalsium dan tinggi silikat, oleh karena itu berpotensi untuk material geopolimer.
2. Konsentrasi NaOH berpengaruh terhadap kuat tekan. Nilai konsentrasi NaOH dengan kuat tekan optimum adalah 12M dengan mutu 11,2 MPa.

E.2 Saran

Saran ataupun rekomendasi pada penelitian ini adalah:

1. Perlu dilakukan pengujian lebih lanjut hingga umur sampel 91 bahkan 120 hari agar data yang dihasilkan lebih baik.
2. Pencampuran bahan geopolimer sebaiknya dilaksanakan pada waktu, situasi dan kondisi yang sama.
3. Masa perawatan suhu ruang sebaiknya menggunakan wadah desikator agar suhu ruangan untuk geopolimer tetap stabil.

F. DAFTAR PUSTAKA

Adam, A. A. (2009). Strength and Durability Properties of Alkali Activated Slag and Fly Ash-Based Geopolymer Concrete, (August), 1–127.

Al Bakri, A. M. M., Kamarudin, H., Bnhussain, M., Nizar, I. K., Rafiza, A. R., & Zarina, Y. (2012). the Processing, Characterization, and Properties of Fly Ash Based Geopolymer Concrete. *Adv. Mater. Sci*, *30*, 90–97.

ASTM C 109 Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (2000).

Davidovits, J. (1994). Properties of Geopolymer Cements. *First International Conference on Alkaline Cements and Concretes*, 131–149.

Fan, F., Liu, Z., Xu, G., Peng, H., & Cai, C. S. (2018). Mechanical and thermal properties of fly ash based geopolymers. *Construction and Building Materials*, *160*, 66–81.

Fatiha, W. Y., Septiani, U., & Arief, S. (2004). Sintesis zeolit dari fly ash batubara ombilin dengan air laut pada temperatur rendah. *Repository Univeristas Andalas*.

Hardjito, D. (2005). *Studies on Fly Ash-Based Geopolymer Concrete*. Curtin University.

Hardjito, D., & Rangan, B. V. (2005). *Development and Properties of Low-Calcium Fly Ash-based Geopolymer Concrete*. *Research report GC*. Perth.

Mustafa, M., Bakri, A., Mohammed, H., Kamarudin, H., Niza, I. K., & Zarina, Y. (2011). Review on fly ash-based geopolymer concrete without Portland Cement. *Journal of Engineering and Technology Research*, *3*(1), 1–4.

Nath, P., & Sarker, P. K. (2015). Use of OPC to Improve Setting and Early Strength Properties of Low Calcium Fly Ash Geopolymer Concrete Cured at Toom Temperature. *Cement and Concrete Composites*, *55*, 205–214.

Olivia, M. (2011). *Durability Related Properties of Low Calcium Fly Ash Based Geopolymer Concrete*. Curtin University of Technology.

Olivia, M. (2015). Geopolimer Sebagai Material Infrastruktur. *Annual Civil Engineering Seminar*, 6.

Olivia, M., Kamaldi, A., Sitompul, I. R., Diyanto, I., & Saputra, E. (2014). Properties of Geopolymer Concrete from Local Fly Ash (FA) and Palm Oil Fuel Ash (POFA). *Materials Science Forum*, *803*(November), 110–114.

Olivia, M., & Nikraz, H. (2011). Properties of Fly Ash Geopolymer Concrete Designed by Taguchi Method. *Materials and Design*, *36*, 191–198.

Olivia, M., Wulandari, C., Sitompul, I. R., Darmayanti, L., & Djauhari, Z. (2016). Study of Fly Ash (FA) and Palm Oil Fuel Ash (POFA) Geopolymer Mortar Resistance in Acidic Peat Environment. *Material Science Forum*, *841*, 126–132.

Ramezanianpour, A. A. (2014). *Cement*

Replacement Materials. Tehran: Springer Heidelberg.

SNI 03-6882-2002. (2002). Spesifikasi Mortar untuk Pekerjaan Pasangan. *Bandung: Badan Standardisasi Indonesia*, 1–8.

SNI 15-2049-2004. (2004). Semen portland. *Bandung: Badan Standardisasi Indonesia*.

Syarif, H. A., Olivia, M., & Saputra, E. (2016). Kuat Tekan Paving Block Geopolimer Abu Sawit (Palm Oil Fuel Ash) dengan Perawatan Suhu Ruang. *Jom FTEKNIK*, *3*, 1–9