

Analisa Kuat Tekan Mortar Geopolimer Berbasis Fly Ash Nagan Raya Dengan Metode Dry Mix

Annisa Adhana Salwan¹, Faisal Rizal², Khairul Miswar³

Jurusan Teknik Sipil, Prodi Konstruksi Bangunan Gedung, Politeknik Negeri Lhokseumawe
Jln. B.Aceh Medan Km.280 Buketrata 24301 INDONESIA

¹annisaadhanas@gmail.com

Abstrak— Mortar dibuat tanpa menggunakan semen sebagai bahan dasar, tetapi menggunakan material lain yang mengandung silika dan alumina. Dimana unsur ini banyak terdapat pada material buangan hasil industri seperti abu terbang (*fly ash*). Selama ini, mortar geopolimer umumnya menggunakan metode basah, dimana material pengikatnya berupa suatu campuran antara larutan alkali dan *fly ash* atau material pozzolan lainnya. Sedangkan jika menggunakan metode kering, bahan pengikatnya berupa semen geopolimer yang terdiri dari *fly ash* dan aktivator padat berupa NaOH dan Na_2SiO_3 yang digiling halus menjadi satu kesatuan. Penelitian ini bertujuan untuk menemukan kuat tekan tertinggi mortar geopolimer dengan metode pencampuran kering menggunakan bahan *fly ash*, natrium hidroksida dan sodium silikat dengan komposisi tertentu. Rasio *fly ash* terhadap aktivator yang digunakan sebesar 2,5. Perbandingan komposisi aktivator kering yang terdiri dari natrium hidroksida (NaOH) padat dan sodium silikat (Na_2SiO_3) padat yang digunakan adalah 1:2,5, 1:3, 1:3,5, 1:4, 1:4,5, kemudian aktivator ini digiling bersama dengan *fly ash* menghasilkan semen geopolimer. Kemudian semen ini dicampur dengan air sebesar 0,4 dan juga pasir. Pengujian dilakukan pada umur 1, 3, 7, dan 14 hari, hasil yang didapatkan bahwa kuat tekan tertinggi berada pada variasi NaOH terhadap Na_2SiO_3 sebesar 1:4,5 dengan nilai kuat tekan 28,26 MPa. Hasil uji waktu pengikatan tercepat didapatkan pada variasi NaOH terhadap Na_2SiO_3 sebesar 1:4,5. Kandungan sodium silikat berpengaruh besar terhadap nilai kuat tekan dan waktu pengikatan mortar.

Kata kunci: Metode Pencampuran Kering, Fly Ash Nagan Raya, Geopolimer, Kuat Tekan.

Abstract— Mortar is made without using cement as a base material, but using other materials that contain silica and alumina. Where this element is widely found in industrial waste materials such as fly ash. So far, geopolimer mortars generally use the wet method, where the binding material is a mixture of alkaline solution and fly ash or other pozzolanic materials. Meanwhile, if using the dry method, the binder is in the form of geopolimer cement consisting of fly ash and solid activator in the form of NaOH and Na_2SiO_3 which are finely ground into a single unit. This study aims to find the highest compressive strength of geopolimer mortar with dry mixing method using fly ash, sodium hydroxide and sodium silicate with certain compositions. The ratio of fly ash to the activator used is 2.5. The comparison of the dry activator composition consisting of solid sodium hydroxide (NaOH) and solid sodium silicate (Na_2SiO_3) used was 1:2,5, 1:3, 1:3,5, 1:4, 1:4,5, then This activator is milled together with fly ash to produce geopolimer cement. Then this cement is mixed with 0.4 water and also sand. The tests were carried out at the age of 1, 3, 7, and 14 days, the results obtained that the highest compressive strength was in the variation of NaOH to Na_2SiO_3 of 1:4.5 with a compressive strength value of 28.26 MPa. The results of the fastest binding time test were found in the variation of NaOH to Na_2SiO_3 of 1:4.5. The content of sodium silicate has a big effect on the compressive strength and mortar setting time.

Keywords: Dry Mixing Method, Nagan Raya Fly Ash, Geopolimer, Compressive Strength.

I. PENDAHULUAN

Perkembangan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (IPTEK) pada saat ini sangatlah pesat. Hal ini terjadi karena terjadinya inovasi dan terobosan untuk membantu manusia dalam mengatasi berbagai permasalahan. Salah satu permasalahan yang disoroti adalah pencemaran lingkungan. Dampak paling nyata yang ditimbulkan dari pencemaran alam adalah terjadinya *global warming*. *Global warming* atau efek rumah kaca merupakan proses pemanasan permukaan suatu benda langit (terutama planet atau satelit) yang disebabkan oleh komposisi dan keadaan atmosfernya (Joseph Fourier, 1824). Salah satu penyebab utama GHG (*Greenhouse Gas*) ini adalah emisi dari pembakaran bahan bakar fosil dan dari produksi semen dengan total mencapai 145% di atmosfer. Konsumsi semen diprediksi akan meningkat 2,6% pada tahun 2017, dan 2,8% pada tahun 2018 [1].

Mortar adalah suatu campuran yang terdiri dari semen, agregat halus dan air baik dalam keadaan dikeraskan ataupun tidak dikeraskan (SNI, 2004). Mortar geopolimer adalah mortar dengan bahan pengikat yang sepenuhnya tidak menggunakan semen sebagai bahan pengikat, tetapi menggunakan *fly ash* sebagai pengganti karena kandungan

silika dan alumina yang sangat tinggi. Jika terjadi penyerapan air pada mortar dengan cepat maupun dengan jumlah yang besar, maka mortar akan mengeras dan akan kehilangan ikatan adhesinya [2]. Wenda, K., dkk. 2018. "Pengaruh Variasi Komposisi Campuran Mortar Terhadap Kuat Tekan". Jurnal Perencanaan dan Rekayasa Sipil. Vol. 01, No. 02. Dalam tahapan pembuatan mortar ini nantinya akan menghasilkan gas CO_2 dan mengakibatkan efek rumah kaca (*global warming*). Kondisi ini merupakan dampak yang sangat buruk bagi lingkungan, sehingga diperlukan penanganan yang serius untuk mencegah bertambahnya pelepasan gas CO_2 dilapisan atmosfer [3]. "Paving Blok Geopolimer dari Fly Ash Limbah Pabrik".

Dalam hal ini diperlukan alternatif pengganti semen pada campuran mortar, yaitu dengan menggunakan alternatif geopolimer. Geopolimer merupakan bentuk anorganik alumina-silika yang disintesa dari material yang banyak mengandung silika (Si) dan alumina (Al) yang bersifat dari alam atau dari material sampingan industri (Muliadi, dkk., 2017). Geopolimer terdiri dari *fly ash* hasil pembakaran batubara yang nantinya digunakan untuk membuat *binder* yang dibutuhkan pada campuran beton.

Fly ash digunakan sebagai pengganti semen karena mengandung silika dan aluminium yang bisa dijadikan bahan

pengikat yang kuat melalui proses[4]. “Potensi Limbah Fly Ash Batu Bara Pltu Di Sulawesi Selatan Sebagai Bahan Dasar Mortar Geopolimer” Prosiding Seminar Hasil Penelitian, dimana *fly ash* merupakan sisa-sisa pembakaran batu bara yang dialirkan dari ruang pembakaran melalui semburan asap, yang berbentuk partikel halus dan merupakan bahan anorganik yang terbentuk dari perubahan bahan mineral karena proses pembakaran batubara pada unit pembangkit uap (*boiler*) (Sumajouw dan Windah, 2015). *Fly ash* dapat mengganti sebagian semen atau seluruh semen, penggantian seluruh semen dengan *fly ash* pada campuran mortar disebut sebagai mortar geopolimer. Teknologi geopolimer yang diusulkan oleh [5] Davidovits, J., 2008, *Geopolymer: Chemistry and Applications*, Perancis: Geopolymer Institute menunjukkan kebenaran pengaplikasian alternatif *binder* untuk *portland cement* pada industri beton [6] Wallah, S. E., & Rangan, B. V. (2006). *Low-Calcium Fly Ash-Based Geopolymer Concrete: Long- Term Properties*. Perth, Australia.

. Teknologi geopolimer terinspirasi dan mengingat jika ketersediaan *fly ash* sebagai limbah sangat banyak, dan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, maka dikembangkanlah penelitian mengenai *geopolymer cement binder* dengan metode *dry mixing*. Metode *dry mixing* geopolimer ini diharapkan dapat menanggulangi kekurangan dari proses pada metode konvensional. Kelebihan dari *dry mixing* diantaranya pekerjaan yang lebih sederhana dari metode konvensional, pengerjaan dapat dilakukan di lapangan, dan pengerjaannya yang lebih cepat. Disamping itu, dengan perbandingan komposisi yang tepat antara natrium hidroksida (NaOH) dengan sodium silikat (Na₂SiO₃) diharapkan mampu menghasilkan nilai kuat tekan mortar maksimum atau tertinggi saat uji kuat tekan.

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Jenis Penelitian dan Rancangan Penelitian

Metode penelitian adalah suatu cara teratur yang digunakan dalam menjalankan suatu pekerjaan untuk mencapai hasil yang diinginkan. Jenis penelitian ini adalah penelitian eksperimental yaitu dengan melakukan percobaan penelitian terhadap paling sedikit satu variabel, kemudian mengontrol variabel lain yang relevan, dan menganalisis dampak atau pengaruhnya terhadap variabel tersebut.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi NaOH terhadap Na₂SiO₃ terhadap nilai kuat tekan *dry geopolymer* mortar dengan metode *dry mixing*.

B. Lokasi dan Waktu Penelitian

Kegiatan pembuatan benda uji serta proses pengujian pada penelitian ini dilakukan pada:

1. Waktu Penelitian

Alokasi waktu penelitian bahan dan material dilakukan pada bulan April 2021 sampai selesai.

2. Lokasi Penelitian

Pelaksanaan penelitian eksperimental mortar *dry geopolymer* dan pengujian kuat tekan mortar *dry geopolymer* dengan benda uji kubus ukuran 5cm x 5cm x 5cm dilaksanakan di Laboratorium Uji Bahan Bangunan Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Lhokseumawe.

C. Lingkup Penelitian

Pada penelitian ini pengaruh variasi NaOH terhadap Na₂SiO₃ diharapkan menunjukkan pengaruhnya terhadap reaksi polimer yang terjadi selama proses pengerasan mortar geopolimer dengan bahan dasar abu terbang sebagai pengganti *Portland cement* dengan metode *dry mixing* dengan tujuan untuk memudahkan masyarakat dalam membuat semen geopolimer tanpa mengabaikan mutu beton yang dihasilkan.

D. Sasaran Penelitian

Sasaran dalam penelitian ini adalah guna mengatasi isu permasalahan lingkungan yakni *global warming* yang disebabkan oleh kadar karbondioksida (CO₂) yang semakin meningkat di atmosfer yang salah satunya disebabkan oleh pelepasan CO₂ oleh *Portland cement* sendiri merupakan bahan penyusun beton.

E. Populasi dan Sampel

1. Populasi

Populasi dalam penelitian ini adalah data hasil pengujian mortar *dry geopolymer* berbentuk kubus dengan ukuran 5cm x 5cm x 5cm berupa data kuat tekan mortar *dry geopolymer*.

2. Sampel

Penelitian ini digunakan sampel dari semua populasi dikarenakan jumlah popilasi bersifat data hasil pengujian di laboratorium dengan sampel benda uji berukuran 5 cm x 5cm x 5cm berjumlah 60 buah. Berikut ini rancangan sampel (*mix design*) mortar *dry geopolymer* sebagai berikut:

TABEL I
RENCANA MIX DESIGN MORTAR DRY GEOPOLYMER

Mix	Kubus 50 x 50 x 50 mm						Air (W /B)
	Rasio Alkali		Pasir (gr)	Fly Ash (gr)	NaOH (gr)	Na ₂ SiO ₃ (gr)	
	Aktivat or Kering	FA: SA					
M1	1:2,5		2750	1000	160	240	0,4
M2	1:3		2750	1000	133	267	0,4
M3	1:3,5	2,5	2750	1000	114	285	0,4
M4	1:4		2750	1000	100	300	0,4
M5	1:4,5		2750	1000	89	311	0,4

F. Teknik Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini, teknik pengumpulan data yang digunakan adalah dengan uji kuat tekan, *setting time*, dan *workability*.

a. Uji kuat tekan

Pengumpulan data pada uji kuat tekan terdiri dari mencatat lokasi dimana benda uji dibuat, tanggal pembuatan benda uji, nama benda uji dan berat benda uji. Langkah-langkah pengujian dan pencatatan nilai kuat tekan seperti yang diatur dalam[7].

b. Uji *Workability*

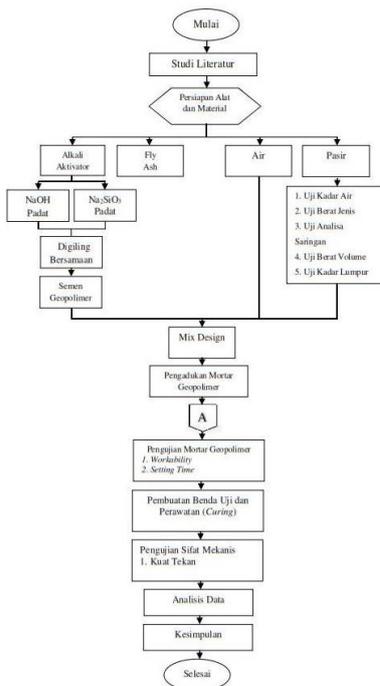
Pengujian ini dilakukan untuk memprediksi *flowabilitas* campuran geopolimer segar selama aplikasi. *Workability* campuran geopolimer segar dalam penelitian ini diukur dengan alat *flow table* aliran sesuai dengan standar [8].

c. Uji *Setting Time*

untuk menentukan waktu yang diperlukan untuk larutan alkali dalam campuran geopolimer segar dari kondisi fluid ke kondisi plastis (*initial setting*) dan dilanjutkan ke kondisi statis atau keras. *Setting time* diambil dari penetrasi *final setting* yang diukur oleh peralatan *vicat test* sesuai dengan standar [9].

G. Metode Eksperimen

Adapun langkah-langkah penelitian disajikan dalam *flowchart* sebagai berikut:



Gambar 1. *Flow chart* penelitian.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hubungan Kuat Tekan Mortar *Dry Geopolymer* dengan Rasio $NaOH_{\text{padat}} : Na_2SiO_{3\text{padat}}$

Pengujian kuat tekan mortar dilakukan untuk mengetahui kuat tekan hancur sampai didapat nilai tegangan maksimum. Benda uji yang dipakai adalah kubus dengan ukuran sisinya 50 mm x 50 mm x 50 mm. Pada penelitian ini menggunakan variasi rasio alkali aktivator kering yang terdiri dari sodium hidroksida (NaOH) padat dan sodium silikat (Na_2SiO_3) pad rata-rata (MPa) yang digunakan adalah 1:2,5, 1:3, 1:3,5, 1:4, dan 1:4,5, hal ini bertujuan adalah untuk mendapatkan hasil kuat tekan maksimum.

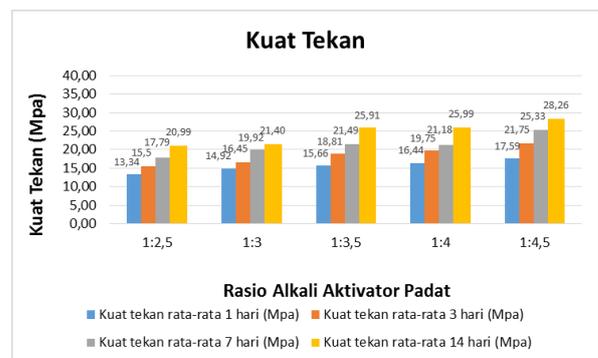
Berikut ini disajikan tabel kuat tekan semua sampel dan grafik kuat tekan mortar *dry geopolymer* dengan umur pengujian selama 1,3,7 dan 14 hari.

TABEL II
HASIL KUAT TEKAN RATA-RATA MORTAR

Mix	Hari	Kuat tekan rata-rata (Mpa) Rasio Alkali Aktivator Padat				
		1:2,5	1:3	1:3,5	1:4	1:4,5
1	1	13,34	14,92	15,66	16,44	17,59
2	3	15,5	16,45	18,81	19,75	21,75
3	7	17,79	19,92	21,49	21,18	25,33
4	14	20,99	21,40	25,91	25,99	28,26

Berdasarkan hasil kuat tekan penambahan komposisi sodium silikat tidak selalu menambah kuat tekan dari mortar. Hal tersebut terlihat pada kondisi 1:2,5 dan 1:3 kuat tekan mortar mengalami peningkatan hanya sedikit dari variabel sebelumnya. Kuat tekan tertinggi terjadi pada kondisi $NaOH_{\text{padat}}:Na_2SiO_{3\text{padat}}$ 1:4,5, dan kuat tekan terlemah terjadi pada kondisi $NaOH_{\text{padat}}:Na_2SiO_{3\text{padat}}$ 1:2,5.

Berikut ini adalah grafik rata-rata kuat tekan *dry geopolymer*:



Gambar 2. Kuat tekan rata-rata mortar *dry geopolymer* 1,3,7,dan 14 hari.

B. Hubungan Workability Mortar Dry Geopolymer

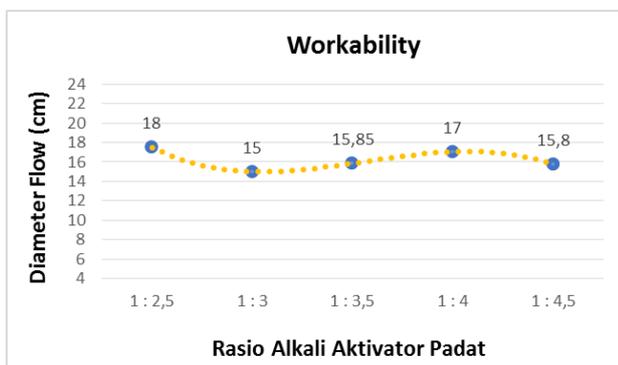
Workability campuran geopolimer segar sangat dipengaruhi oleh permukaan partikel dari material. Permukaan FA yang berkabut menyebabkan penyerapan padatan alkali oleh permukaan partikel FA. Ini berarti bahwa material FA akan menurunkan campuran segar. Selain itu, padatan alkali juga memainkan peran penting dalam peningkatan workability. Hal ini disebabkan pelumasan campuran padatan alkali aktivator yang memberikan viskositas (kekentalan) dalam campuran geopolimer segar.

Lebih lanjut, padatan alkali bila telah dicampur dengan FA dan pasir akan menghasilkan campuran mortar yang lebih kental, Yang mana akan memberikan sifat lebih kohesif dan lengket dalam campuran geopolimer segar dibandingkan dengan campuran konvensional. Viskositas padatan alkali dihasilkan dengan campuran antara NaOH dan Na₂SiO₃ yang berbentuk granular atau padatan yang telah digiling. Pengujian workability menggunakan alat flow table dengan mengukur diameter sebaran mortar geopolimer dengan menggunakan metode pencampuran kering.

Berikut ini disajikan tabel dan grafik pengujian workability mortar dry geopolymer.

TABEL III
NILAI WORKABILITY MORTAR DRY GEOPOLYMER

Mix	Rasio Alkali Aktivator Padat	Rata-Rata Diameter Flow (cm)
1	1 : 2,5	18
2	1 : 3	15
3	1 : 3,5	15,85
4	1:04	17
5	1 : 4,5	15,8



Gambar 3. Workability mortar geopolimer dry mix

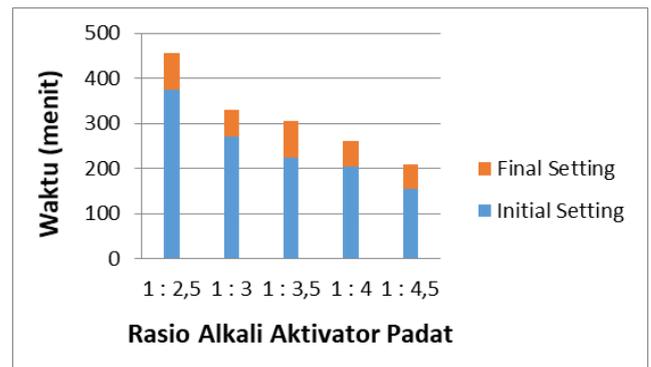
Gambar 3 menyimpulkan bahwa hasil workability yang tinggi dihasilkan pada campuran 1 dengan rasio alkali aktivator padat 1:2,5. Sedangkan workability terendah terdapat pada campuran 2 dengan rasio alkali aktivator 1:3, hal ini dikarenakan rasio NaOH dan Na₂SiO₃ yang kurang berkonsentrasi dalam adukan sehingga menurunkan workabilitas, dimana penurunan workabilitas adukan tersebut sejalan dengan seberapa perbandingan alkali aktivator padat yang dicampur, sehingga campuran mortar menggumpal dan sulit tersebar merata dalam proses pengadukan.

C. Hubungan Setting Time Mortar Dry Geopolymer Terhadap Kuat Tekan Mortar Dry Geopolymer

Berikut ini disajikan dan grafik waktu ikat awal (initial time) dan waktu ikat akhir (final time) mortar dry geopolymer.

TABEL IV
WAKTU IKAT AWAL (INITIAL TIME) DAN WAKTU IKAT AKHIR (FINAL TIME) MORTAR DRY GEOPOLYMER

Mix	Rasio Alkali Aktivator Padat	Waktu (Menit)	Initial Setting (mm)	Waktu (Menit)	Final Setting (mm)
1	1 : 2,5	375	25	455	2
2	1 : 3	240	25	330	2
3	1 : 3,5	225	28	305	3
4	1 : 4	205	25	260	2
5	1 : 4,5	155	20	210	2



Gambar 4. Waktu ikat awal dan waktu akhir mortar dry geopolymer.

Berdasarkan hasil diatas mix design 1 dengan rasio alkali aktivator padat 1:2,5 memiliki waktu pengikatan terlama, yaitu mencapai 445 menit untuk terjadi pengikatan akhir. Sedangkan pengikatan tercepat adalah mix design 5 yang membutuhkan waktu 210 menit untuk mencapai waktu pengikatan akhir. Hal ini disebabkan oleh kandungan sodium silikat pada mix design 5 adalah yang terbanyak dengan perbandingan NaOH_{padat}/Na₂SiO_{3padat} sebesar 1:4,5. Sebaliknya, mix design 1 memiliki kandungan sodium silikat

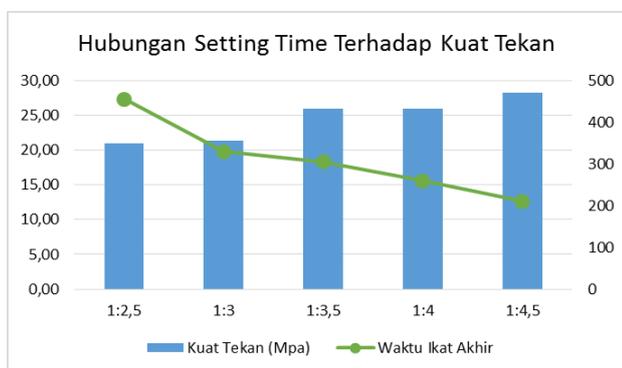
paling sedikit dengan perbandingan $\text{NaOH}_{\text{padat}}/\text{Na}_2\text{SiO}_3_{\text{padat}}$ sebesar 1:2,5.

D. Hubungan *Setting Time Dry Geopolymer Terhadap Kuat Tekan*

Berikut ini disajikan tabel hubungan *setting time* terhadap kuat tekan mortar geopolimer dengan metode pencampuran kering.

TABEL V
HUBUNGAN *SETTING TIME* TERHADAP KUAT TEKAN MORTAR *DRY GEOPOLYMER*

Mix	Rasio Alkali	Kuat Tekan (Mpa)	Waktu Ikut Awal (Menit ke-)	Waktu Ikut Akhir (Menit ke-)
1	1:2,5	20,99	375	455
2	1:3	21,40	240	330
3	1:3,5	25,91	225	305
4	1:4	25,99	205	260
5	1:4,5	28,26	155	210



Gambar 5. Grafik hubungan *setting time* terhadap kuat tekan mortar *dry geopolymer*.

Pada mortar *dry geopolymer* dengan waktu pengikatan tercepat terdapat pada mortar dengan dengan komposisi $\text{NaOH}_{\text{padat}}:\text{Na}_2\text{SiO}_3_{\text{padat}}$ 1:4,5 dengan waktu akhir 210 menit. Pada komposisi ini juga memiliki kuat tekan tertinggi yang mencapai nilai 28,26 Mpa. Untuk waktu ikat terlama terdapat pada mortar dengan komposisi $\text{NaOH}_{\text{padat}}:\text{Na}_2\text{SiO}_3_{\text{padat}}$ 1:2,5 dengan waktu ikat akhir 455 menit. Pada komposisi ini juga memiliki kuat tekan terendah dengan nilai 20,99 Mpa.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil yang diperoleh pada penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa :

1. Pada mortar geopolimer dengan metode *dry mix* ketentuan *mix design* berdasarkan rasio perbandingan alkali aktivator

padat yang bervariasi yakni perbandingan antara $\text{NaOH}_{\text{padat}}:\text{Na}_2\text{SiO}_3_{\text{padat}}$, dimana rasio alkalinya terdiri dari 1:2,5, 1:3, 1:3,5, 1:4, dan 1:4,5, kemudian aktivator ini digiling bersamaan dengan *fly ash* menghasilkan semen geopolimer. Dalam penelitian ini digunakan sebanyak 5 campuran yang berbeda-beda untuk mendapatkan nilai akhir kuat tekan tertinggi nantinya.

2. Kuat tekan mortar geopolimer dengan metode *dry mix* dipengaruhi oleh banyaknya kandungan sodium silikat di dalamnya. Semakin tinggi sodium silikat dapat membuat kuat tekan pada mortar semakin tinggi. Pengujian dilakukan pada umur 1, 3, 7, dan 14 hari, hasil yang didapatkan bahwa kuat tekan tertinggi berada pada variasi NaOH terhadap Na_2SiO_3 sebesar 1:4,5 dengan nilai kuat tekan 28,26 Mpa dan pada rasio ini pula nilai *setting time* tercepat yaitu dengan *waktu final setting* 210 menit. Sedangkan kuat tekan terendah berada pada variasi NaOH terhadap Na_2SiO_3 sebesar 1:2,5 dengan nilai kuat tekan 20,99 Mpa dan pada rasio ini pula nilai *setting time* terlama yaitu dengan *waktu final setting* 455 menit. Untuk hasil *workability* yang tinggi dihasilkan pada campuran 1 dengan rasio alkali aktivator padat 1:2,5. Sedangkan *workability* terendah terdapat pada campuran 2 dengan rasio alkali aktivator 1:3, hal ini dikarenakan rasio NaOH dan Na_2SiO_3 yang kurang berkonsentrasi dalam adukan sehingga menurunkan *workability*, dimana penurunan *workability* adukan tersebut sejalan dengan seberapa perbandingan alkali aktivator padat yang dicampur, sehingga campuran mortar menggumpal dan sulit tersebar merata dalam proses pengadukan.

REFERENSI

- [1] Santoso, Widodo. 2018. *Konsumsi di daerah menggerek volume penjualan semen kuartal I-2018*, (Online), <https://industri.kontan.co.id/news/konsumsi-di-daerah-menggerek-volume-penjualan-semen-kuartal-i-2018>, diakses Mei 2021).
- [2] Wenda, K., dkk. 2018. “*Pengaruh Variasi Komposisi Campuran Mortar Terhadap Kuat Tekan*”. *Jurnal Perencanaan dan Rekayasa Sipil*. Vol. 01, No. 02.
- [3] Aman, A. A., dkk. 2016. “*Paving Blok Geopolimer dari Fly Ash Limbah Pabrik*”.
- [4] Bachtiar, E., dkk. 2018. “*Potensi Limbah Fly Ash Batu Bara Pltu Di Sulawesi Selatan Sebagai Bahan Dasar Mortar Geopolimer*”. *Prosiding Seminar Hasil Penelitian*.
- [5] Davidovits, J., 2008, *Geopolymer: Chemistry and Applications*, Perancis: Geopolymer Institute.
- [6] Wallah, S. E., & Rangan, B. V. (2006). *Low-Calcium Fly Ash-Based Geopolymer Concrete: Long- Term Properties*. Perth, Australia.
- [7] ASTM C 39/C39M-05 “*Pengujian Kuat tekan Beton*”.
- [8] ASTM C230. “*Pengujian Workability*”.
- [9] SNI-03-6825-2002.” *Pengujian Setting Time*”.
- [10] ASTM C.128-15. “*Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Halus*”.
- [11] ASTM C.566-13. “*Kandungan Air Agregat halus*”.
- [12] ASTM C191, 1999. “*Standard Test Method for Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle*” *Annual Book of ASTM Standards*.
- [13] ASTM C230. “*Pengujian Workability*”.

- [14] ASTM C33-01. "Analisa Saringan Agregat halus".
- [15] ASTM C39. 2002. "Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens". Annual Book of ASTM Standards. USA.
- [16] Davidovits, J., 1999. *Chemistry Of Geopolymer System*, terminology. In Proceedings of geopolymer system, terminology." In proceedings of Geopolymer '99 International Conferences, France.
- [17] Fitriani, Dian Rahma. 2010. Pengaruh Modulus Alkali dan Kadar Aktivator terhadap Kuat Tekan Fly ash Based Geopolymer Mortar. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- [18] Gunawan, A. (2014). Pengaruh Campuran Dua Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan beton. *Jurnal Inersia*, 1, 61-72.
- [19] Hardjito, D. (2005). *Studies on Fly Ash-Based Geopolymer Concrete*. Perth: Curtin's Institutional Research Repository.
- [20] Irfan Prasetyo Loekito. 2019. "Pengaruh Variasi NaOH Dan Na_2SiO_3 Terhadap Kuat Tekan *Dry Geopolymer* Mortar Pada Kondisi Rasio Fly Ash Terhadap Aktivator 2,5 : 1" *Artikel Ilmiah Progam Studi S1 Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Unesa*. Hal. 3-6. Pekanbaru: Prosiding Seminar Nasional "Pelestarian Lingkungan dan Mitigasi Bencana". Vol. 1, No.1.
- [21] Khoiriyah, N. L., & Maisytoh, P. (2016). *Karakteristik Mortar Geopolimer Dengan Perawatan Oven pada Berbagai Variasi Waktu Curing*. Tugas Akhir. Jakarta: Politeknik Negeri Jakarta.
- [22] Rusadi, A. I., dkk. 2018. "Pengaruh Modulus Aktivator ($\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$) terhadap Kuat Tekan Mortar Geopolimer Abu Terbang dengan Perawatan Suhu Ruang". *Jurnal Jom FTEKNIK*. Vol.5, Edisi 2.
- [23] Tambingon, F. R., dkk. 2018. "Kuat Tekan Beton Geopolymer Dengan Perawatan Temperatur Ruangan". *Jurnal Sipil Statik* Vol.6
- [24] Tri Eddy, 2016. "Proses Pembuatan Geopolimer Metode Pencampuran Kering".
- [25] Wijaya, M. F., dkk. 2019. "Kuat Tekan Mortar Geopolimer Abu Terbang Hybrid Menggunakan Semen Portland". *Jurnal Teknik*. Vol. 13, No. 1.