

STUDI EXPERIMENTAL PENGARUH PERBEDAAN MOLARITAS AKTIVATOR PADA PERILAKU BETON GEOPOLIMER BERBAHAN DASAR FLY ASH

Darma Adi S, Farizka Rahman N, Han Ay Lie ^{*)}, Purwanto ^{*)}

Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof Soedarto, SH Tembalang, Semarang. 50275, Telp.: (024)7474770, Fax.:
(024)7460060

ABSTRAK

Geopolimer merupakan sintesa bahan-bahan alam organik melalui proses polimerisasi dimana bahan utama dalam pembuatan material geopolimer adalah bahan-bahan yang mengandung unsur silikon dan aluminium. Material geopolimer ini didapat dari bahan-bahan hasil buangan industri seperti *iron blast furnance slag*, *bottom ash*, atau *fly ash*. Penggunaan *fly ash* sebagai pengganti semen pada beton merupakan salah satu alternatif yang dapat digunakan untuk mengurangi penggunaan semen portland. Dimana beton konvensional memberikan pengaruh yang cukup signifikan terhadap emisi gas karbon dioksida ke atmosfer. Seperti halnya beton konvensional, kuat tekan beton geopolimer sangat dipengaruhi oleh umur dari beton itu sendiri. Kekuatan beton akan meningkat sebagai fungsi penambahan usia hingga mencapai batas optimumnya. Selain itu, perbedaan molaritas pada larutan aktivator juga menjadi faktor dalam menghasilkan kuat tekan yang optimum. Pada penelitian ini memberikan hasil studi eksperimental terhadap beton geopolimer berbasis *fly ash* dengan menggunakan campuran *fly ash* sebagai material asal, natrium hidroksida dan sodium silikat sebagai aktivator, agregat kasar dan halus seperti halnya campuran beton konvensional. Fokus pada penelitian adalah untuk mengetahui pengaruh perbedaan molaritas terhadap kuat tekan beton. Umur beton yang ditinjau kuat tekannya adalah beton saat berumur 7, 14, 28 hari. Sedangkan untuk molaritas natrium hidroksida ditinjau dalam 3 kondisi yaitu pada kondisi 6 M, 8 M dan 10 M.

Kata Kunci : *fly ash*, geopolimer, kuat tekan, molaritas, umur

ABSTRACT

The geopolymer is synthesizing organic materials through a polymerisation process, in which the main ingredients of the manufacturing process are materials containing silicon and aluminium substances such as iron blast furnance slag, bottom ash, atau fly ash, known as waste generated industry. Fly ash, becoming a substitute of cement in concrete, is one of the alternatives to reduce the use of Portland cement, since conventional concrete, nowadays, gives significant effect to carbon dioxide emmision toward the atmosphere. Similar to conventional concrete, the compressive strenght of geopolymer concrete is strongly influenced by the age of concrete itself. The strenght will increase as function of additional

^{*)} Penulis Penanggung Jawab

age to obtain its optimum limit. Meanwhile, the molarity difference on aktivator solution is the factor on producing the optimum compressive strenght. On this final report, the experimental study results that geopolimer concrete based on fly ash uses the mixture of fly ash itself as the orginal material, sodium hydroxide and sodium silicate as the activator, coarse and fine aggregates as in the conventional concrete. This study focus on revealing the effect of age difference and molarity to compressive strenght of the concrete. The age of concrete, in which its compressive of strenght is observed, is the concrete in its age of 7, 14, 28 days. While for molarity, the sodium hydroxide is observed on three conditions; on 6 M, 8 M and 10 M.

Keywords: age, compressive strenght, fly ash, geopolimer, molarity

1. PENDAHULUAN

Berdasarkan kemajuan zaman menyebabkan terjadinya peningkatan pembangunan infrastruktur beton di dunia. Dengan meningkatnya kebutuhan akan beton di seluruh dunia maka semakin meningkat pula produksi semen sebagai bahan dasar pembuatan beton. Dalam proses produksinya semen mengeluarkan gas CO₂ yang menimbulkan efek rumah kaca. Dimana dalam satu ton produksi semen portland akan dihasilkan sekitar satu ton gas karbon dioksida yang dilepaskan ke atmosfer [1, 2, 3]. Diperlukan material alternatif sebagai pengganti semen untuk mengurangi efek rumah kaca tersebut. Material alami yang diutamakan sebagai pengganti semen ini adalah material yang memiliki kandungan oksida silika dan alumina tinggi [4]. Material alam tersebut dapat menggantikan sebagian atau seluruhnya penggunaan semen dalam beton dengan menggunakan teknologi geopolimer. Geopolimer merupakan sintesa bahan-bahan alam organik melalui proses polimerisasi dimana bahan utama dalam pembuatan material geopolimer adalah bahan-bahan yang mengandung unsur silikon dan aluminium seperti *iron blast furnance slag*, *bottom ash*, atau *fly ash*, sebagai bahan-bahan hasil buangan industri. Unsur silikon dan alumina ini direaksikan secara kimia dengan larutan alkalis, sehingga menghasilkan pasta geopolimer. Pasta geopolimer digabungkan dengan agregat akan menghasilkan beton geopolimer, tanpa menggunakan semen lagi [5].

2. STUDI PUSTAKA

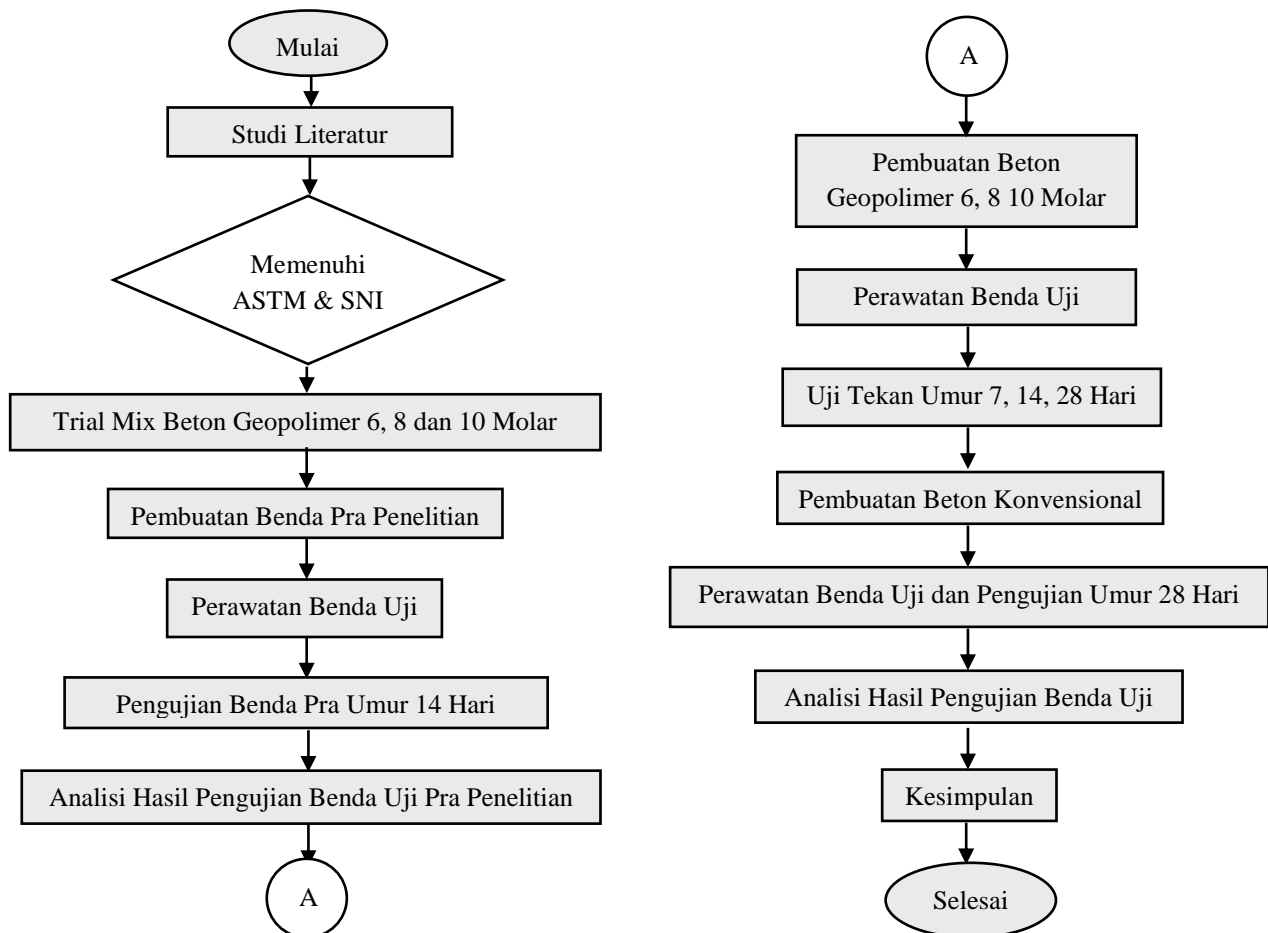
Beton Geopolimer adalah material baru yang tidak memerlukan kehadiran semen portland sebagai pengikat. Sebagai gantinya, bahan seperti *fly ash* yang memiliki kandungan Silika (Si) dan Aluminium (Al) diaktifkan oleh larutan alkali untuk menghasilkan binder. Sehingga beton geopolimer dapat terbentuk tanpa menggunakan semen portland [5, 6]. Pasta Geopolimer mengikat agregat kasar, agregat halus dan material lainnya yang menjadi bahan penyusun untuk membentuk beton geopolimer. Pembuatan beton geopolimer dilakukan dengan menggunakan metode pelaksanaan beton konvensional pada umumnya. Seperti pada beton konvensional, agregat menempati 75-80% komposisi material pada beton geopolimer. Silika dan alumina pada *fly ash* yang rendah kalsium akan diaktifkan oleh kombinasi larutan sodium hidroksida dan sodium silikat untuk membentuk pasta geopolimer yang mengikat agregat dan bahan lainnya yang tidak bereaksi [7].

Menurut ASTM C618, *fly ash* dikelompokkan menjadi 3 kelas. Kelas N merupakan *fly ash* yang diperoleh secara natural, kelas F berasal dari pembakaran batubara *anthracite* atau *bituminous*, dan kelas C berasal dari pembakaran batubara *lignite* atau *subbituminous* [8].

Aktivator merupakan zat atau unsur yang menyebabkan zat atau unsur lain bereaksi. Dalam pembuatan beton geopolimer, aktivator yang digunakan adalah unsur alkali yang terhidrasi. Penggunaan hidroksida alkali sebagai aktivator ini dikarenakan silika merupakan asam kuat maka ia juga akan bereaksi dengan basa kuat. Hidroksida alkali adalah senyawa basa kuat, sehingga hidroksida alkali pada *fly ash* dapat mereaksikan silika [9]. Aktivator dibutuhkan untuk reaksi polimerisasi monomer alumina dan silika. Alkali mengaktifkan prekursor dengan mendisolusikan mereka ke dalam monomer (SiO_4) dan (AlO_4). Selama proses curing, monomer-monomer tadi terkondensasi dan membentuk jaringan polimer tiga dimensi yang berikatan silang. Penambahan sodium hidroksida bertujuan untuk menambah ion Na^+ pada proses polimerisasi [10].

3. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental yang dilakukan di Laboratorium Teknologi Bahan & Konstruksi, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Diponegoro dengan tahapan sebagai berikut :



Gambar 1. *Flowchart* Tahapan Penelitian

3.1 Material

Pada penelitian ini menggunakan *Fly ash* yang berasal dari Varia Usaha Beton Demak dengan sumber asal PJB Tanjung Jati B – Jepara dan diperoleh komposisi kimia dari *Fly Ash* sebagai berikut :

Tabel 1. Komposisi *Fly Ash* PJB Tanjung Jati – Jepara

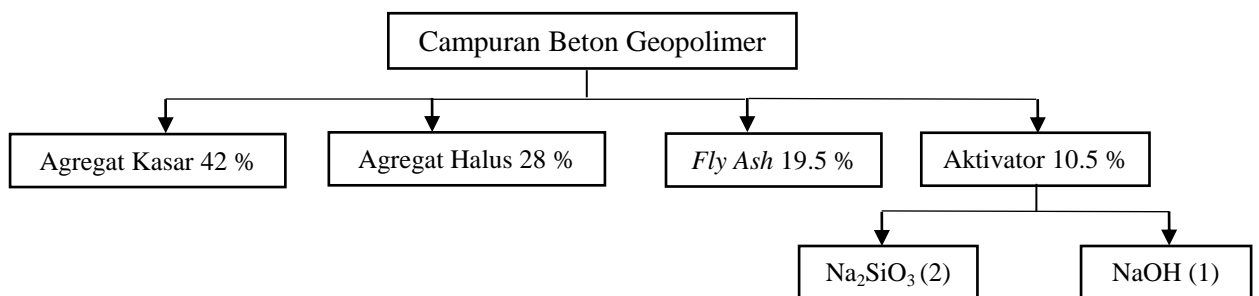
Parameter	Hasil Analisa (%)	Standar Berdasarkan					
		ASTM C 618			ACI Part 1 226-3R		
		N	F	C	N	F	C
Silicon Dioxide (SiO ₂)	76,87	70	70	50	-	70	50
Alumunium Oxide (Al ₂ O ₃)							
Iron Oxide (Fe ₂ O ₃)							
Calcium Oxide (CaO)	11,48	-	-	-	-	<10	>10
Sulfur Trioxide (SO ₃)	2,29	4	5	5	-	5	5
Moisture Content	0,33	3	3	3	-	3	3
Loss on Ignition	1,66	10	6	6	-	6	6
Sodium Dioxide (Na ₂ O)	1,12	-	1,5	1,5	-	1,5	1,5

Sumber : *Chemical Analysis* Varia Usaha Beton

Berdasarkan ASTM C618 [8] material *fly ash* dari PJB Tanjung Jati B – Jepara tergolong dalam *fly ash* kelas F dikarenakan komposisi senyawa Silicon Dioxide (SiO₂) , Alumunium Oxide (Al₂O₃) dan Iron Oxide (Fe₂O₃) bernilai 76,87 % > 70 %.

Sementara larutan aktivator yang digunakan adalah Sodium silikat (Na₂SiO₃) dan sodium hidroksida (NaOH). Sodium silikat berfungsi untuk mempercepat reaksi polimerisasi, sedangkan sodium hidroksida berfungsi untuk mereaksikan unsur-unsur Al dan Si yang terkandung dalam *fly ash* sehingga dapat menghasilkan ikatan polimer yang kuat [11].

3.2 Mix design



Gambar 2. *Mix Design* Beton Geopolimer

Sumber : Mulyana, F & Yolanda, T., 2017 [12]

Benda uji dibuat sebanyak 9 silinder untuk masing - masing molar dan 3 silinder beton konvensional untuk pengujian dari umur 7 hari hingga 28 hari. Berikut ini adalah tabel jumlah benda uji penelitian :

Tabel 2. Benda Uji Penelitian

Beton Geopolimer	Umur Pengujian	Jumlah Sampel
6 Molar	7 hari	3
	14 hari	3
	28 hari	3
8 Molar	7 hari	3
	14 hari	3
	28 hari	3
10 Molar	7 hari	3
	14 hari	3
	28 hari	3
Konvensional	28 hari	3

3.3 Pengujian Sampel

Sampel Geopolimer yang diuji adalah kuat tekan dan berat jenis. Uji kuat tekan beton geopolimer dengan umur 7, 14, 28 hari dengan menggunakan alat tes kuat tekan beton pada Laboratorium Teknologi Bahan Universitas Diponegoro dan uji berat jenis dilakukan menggunakan prinsip *archimedes* dimana pecahan beton yang telah diuji akan dimasukkan kedalam wadah yang berisi air raksa sehingga dapat dihitung berat jenis dari beton tersebut.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Pengujian Vicat Pasta Geopolimer

Pengujian pada pasta geopolimer ini bertujuan agar mengetahui *setting time* dan *final setting* yang dihasilkan akibat pencampuran antara *fly ash* yang digunakan dengan larutan aktivator. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 3.

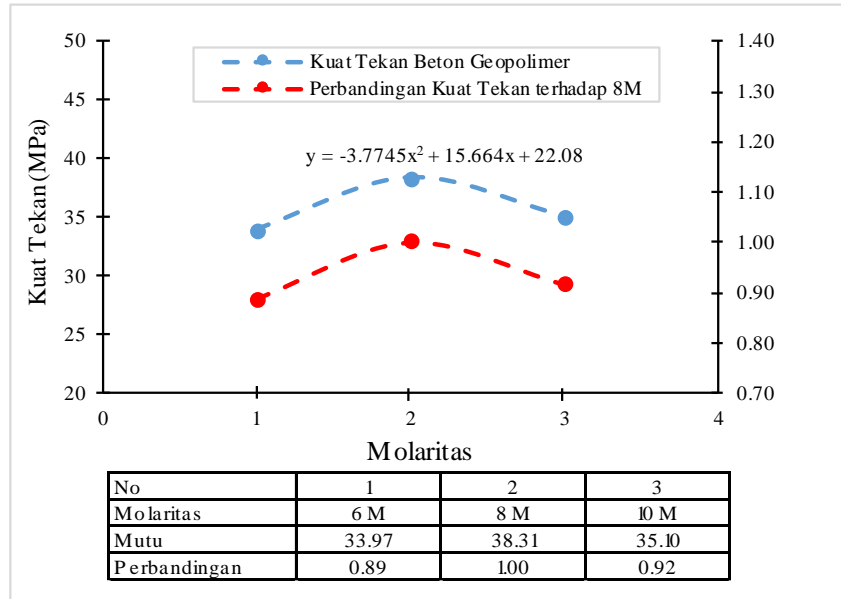
Tabel 3. Hasil Pengujian Vicat Pasta Geopolimer

Binder	<i>Fly Ash</i> Tipe F
Larutan Aktivator	NaOH (8M) : Na ₂ SiO ₃ = 1 : 2
Komposisi	<i>Fly Ash</i> : Larutan Aktivator = 0,65 : 0,35
<i>Setting Time</i>	28 Jam
<i>Final Setting</i>	44 Jam

Pada tabel 3 dapat diketahui bahwa pasta geopolimer memiliki *setting time* dan *final setting* yang lebih lama dibandingkan pasta semen yang pada umumnya memiliki *setting time* selama 4 jam dan *final setting* sekitar 6 – 8 jam.

4.2 Pra Penelitian

Kegiatan pra penelitian dilakukan bertujuan untuk mengetahui perbedaan kuat tekan beton geopolimer yang dihasilkan akibat perbedaan molaritas dari aktivator larutan NaOH. Pada trial ini digunakan tiga konsentrasi molar yang berbeda yaitu 6M, 8M, dan 10M yang akan diuji pada umur 14 hari.



Gambar 3. Kurva Hubungan Antara Kuat Tekan dengan Molaritas

Dari gambar kurva diatas dapat diketahui bahwa beton geopolimer dengan konsentrasi larutan NaOH 8M memiliki kuat tekan tertinggi yaitu 38,31 MPa nilai ini lebih besar dari beton geopolimer dengan konsentrasi larutan NaOH 6M dan NaOH 10M. Hal ini menunjukkan adanya variasi kuat tekan yang dihasilkan dari perbedaan molaritas aktivator yang digunakan namun tidak menghasilkan perbedaan yang cukup signifikan. Melalui persamaan $y = -3.7745x^2 + 15.664x + 22.08$ yang diperoleh dari gambar 3 dapat diketahui molaritas larutan aktivator optimum yang dapat digunakan yaitu 8.18 M.

Penelitian yang dilakukan oleh Johannes & Sandi pada tahun 2007 tentang pengaruh konsentrasi NaOH terhadap kuat tekan mortar. Pada penelitian ini menggunakan 5 konsentrasi NaOH yang berbeda yaitu 6M, 7M, 8M, 10M dan 12M dimana menghasilkan kuat tekan secara berturut-turut 11.94, 16.38, 18.31, 17.43 dan 11.54 MPa. Pengujian dilakukan pada umur 7 hari, dari ke lima konsentrasi NaOH menghasilkan kuat tekan yang berbeda. [13]

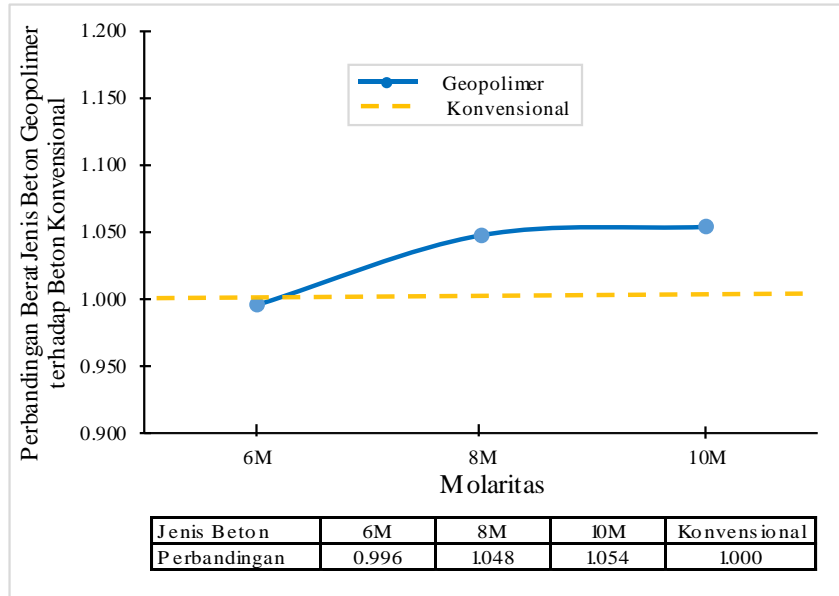
4.3 Pengujian Berat Jenis Beton

Pengujian berat jenis dilakukan pada benda uji beton geopolimer dan konvensional yang sudah dites kuat tekannya dan berumur 28 hari. Berikut ini tabel hasil pengujian berat jenis:

Tabel 4. Hasil Pengujian Berat Jenis Beton

No	Jenis Beton	Berat Jenis (kg/m ³)
1	6M	2116.98
2	8M	2228.14
3	10M	2241.32
4	Konvensional	2125.70

Dari hasil yang diperoleh terlihat bahwa berat jenis beton geopolimer berkisar antara 2116.98 – 2241.32 kg/m³. Dan hal ini menunjukkan berat jenis beton geopolimer lebih besar dibandingkan beton konvensional dengan berat jenis sebesar 2125.70 kg/m³.



Gambar 4. Perbandingan Berat Jenis Beton Geopolimer terhadap Beton Konvensional

Pada gambar 4 dapat diketahui bahwa beton geopolimer 8 dan 10 molar memiliki berat jenis lebih besar secara berturut-turut 4.8% dan 5.4% dibandingkan beton konvensional. Sedangkan untuk beton geopolimer 6 molar memiliki berat jenis lebih kecil yaitu 0,9% dari beton konvensional. Jika dibandingkan antar beton geopolimer didapat bahwa beton geopolimer 6M memiliki berat jenis terkecil dari beton geopolimer 8M dan 10M. Hal ini dapat disebabkan karena beton geopolimer 6M menggunakan kadar larutan NaOH yang lebih sedikit dibandingkan beton geopolimer 8M dan 10M.

4.4 Pengujian Kuat Tekan

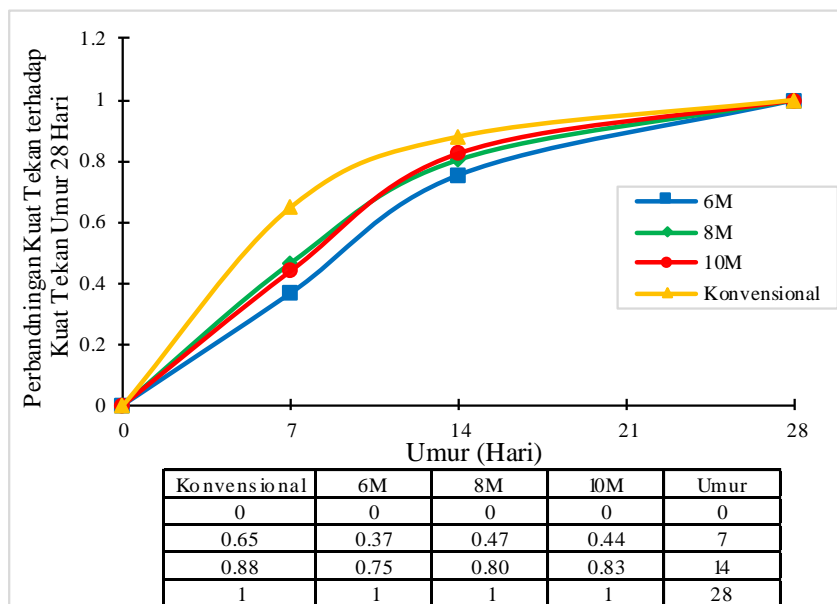
Kuat tekan beton geopolimer yang akan diuji terdiri dari 3 jenis konsentrasi larutan NaOH yaitu 6M, 8M, dan 10M dengan pengujian pada umur 7, 14, dan 28 hari. Dan beton konvensional direncanakan memiliki proporsi perbandingan material yang sama seperti beton geopolimer. Untuk binder berupa *fly ash* diganti dengan semen. Sedangkan larutan aktivator berupa NaOH dan Na₂SiO₃ diganti dengan air. Berikut ini hasil pengujian kuat tekan beton yang dilakukan.

Tabel 5. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

No	Jenis Beton	Umur (Hari)	Kuat Tekan Beton Rata-rata (Mpa)
1	6M	7	15.29
		14	31.33
		28	41.52
2	8M	7	21.14
		14	36.42
		28	45.29
3	10M	7	19.06
		14	35.67
		28	43.22
4	Konvensional	28	25.86

Pada tabel 5 diatas dapat diketahui bahwa beton geopolimer dengan aktivator larutan NaOH 8M memiliki kuat tekan terbesar dibandingkan beton geopolimer dengan larutan NaOH 6M dan 10M. Hal ini dapat disebabkan karena adanya perbedaan kadar NaOH yang digunakan. Kadar NaOH yang sedikit menjadikan kuat tekan menjadi lebih rendah namun penggunaan NaOH yang cukup besar juga mempengaruhi *workability* dari beton geopolimer sehingga kuat tekan beton geopolimer 10M lebih kecil dibandingkan beton geopolimer 8M.

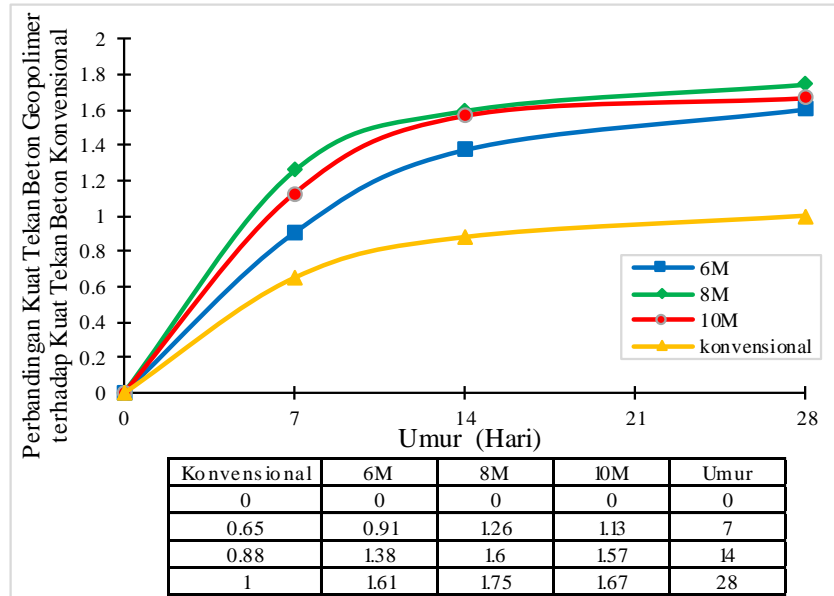
Viskositas yang tinggi menghalangi disolusi atom silika dan alumina, sehingga menghasilkan tingkat geopolimerisasi yang lebih rendah dibandingkan dari molar yang lebih tinggi [14, 15]. Semakin besar jumlah konsentrasi molar dari sodium hidroksida (NaOH) maka menghasilkan kuat tekan beton geopolimer yang lebih tinggi [16]. Semakin tinggi konsentrasi dari sodium hidroksida yang digunakan semakin tinggi nilai kuat tekan mortar geopolimer yang dihasilkan [17]. Nilai Slump yang diperoleh dari seluruh campuran beton geopolimer adalah 230 – 270 mm. Walaupun nilai slump terindikasi sebagai beton yang memiliki *workability* yang baik, namun kenyataannya pada pengerjaan sulit dilaksanakan [18].



Gambar 5. Grafik Perbandingan Kuat Tekan terhadap Kuat Tekan 28 Hari

Pada umur 7 hari beton konvensional memiliki peningkatan kuat tekan terbesar dibandingkan beton geopolimer yaitu mengalami peningkatan sebesar 65%. Sementara pada umur 14 hari, beton konvensional dan beton geopolimer sudah mencapai peningkatan kuat tekan lebih dari 80% kecuali beton geopolimer 6M hanya mencapai peningkatan sebesar 75%. Hal ini dapat disebabkan karena beton geopolimer memiliki *setting time* dan *final setting* yang lebih lambat dibandingkan beton konvensional. Namun jika ingin memiliki *setting time* dan *final setting* yang lebih cepat pada beton geopolimer dapat metode *curing oven*.

Penelitian tentang pengaruh metode *curing* terhadap properties dari beton geopolimer, pada pengujian 7 hari menggunakan metode *curing oven* dengan suhu 60 °C selama 8 jam menghasilkan kuat tekan 25.79 MPa. Dan untuk beton geopolimer dengan metode *curing* karung goni basah diperoleh kuat tekan 11.22 MPa [12]



Gambar 6. Grafik Perbandingan Kuat Tekan Beton Geopolimer terhadap Kuat Tekan Beton Konvensional

Berdasarkan gambar 6 diatas dapat diketahui bahwa beton geopolimer memiliki kuat tekan yang lebih besar dibandingkan beton konvensional. Pada umur 28 hari, beton geopolimer 8M memiliki kuat tekan 75% lebih besar dibandingkan beton konvensional. Hal ini dapat disebabkan karena adanya perbedaan proses pengikatan pada kedua beton tersebut. Pada beton konvensional mengalami proses hidrasi sementara beton geopolimer mengalami proses polimerisasi dalam proses pengikatan antar material di dalam beton. Telah ditunjukkan bahwa kekuatan ikatan semua spesimen geopolimer secara substansial lebih tinggi bila dibandingkan dengan sampel beton konvensional yang memiliki kekuatan kompresi silinder yang sama [19].

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa dan pembahasan tersebut di atas dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Dengan komposisi *mix design* yang sama hasil kuat tekan beton geopolimer dengan larutan NaOH 6, 8 dan 10 molar lebih besar dari beton konvensional.
2. Respon peningkatan kuat tekan beton geopolimer lebih lambat dari beton konvensional. Hal ini disebabkan setting time dan final setting beton geopolimer lebih lama dibandingkan beton konvensional.
3. Berat jenis beton geopolimer lebih besar dibandingkan beton konvensional. Hal ini disebabkan larutan NaOH dan NaSiO₃ pada beton geopolimer memiliki berat jenis yang lebih besar dibandingkan berat jenis air pada beton konvensional.
4. Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan beton geopolimer dan melalui persamaan $y = -3.7745x^2 + 15.664x + 22.08$ didapatkan aktivator optimum yaitu 8,18 M
5. Semakin tinggi konsentrasi molar yang digunakan maka semakin kental larutan yang dihasilkan dan semakin sulit pengerjaannya (*workability*)
6. Beton geopolimer lebih ramah lingkungan dibandingkan beton konvensional karena penggunaan semen pada beton konvensional dapat diganti seluruhnya dengan *fly ash*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hardjito, D., Enviromentally Driven Geopolymer Cement Applications. *Geopolymer Conference*. 2002. Australia.
- [2] Hardjito, D., Properties of Geopolymer Cements. *First International Conference on Alkaline Cements and Concrete*. 1994. Ukraine. (131-149)
- [3] McCaffrey, R., Climate Change and the Cement industry . *Global Cement and Lime Magazine (Enviromental Special Issue)*. 2002. (15-19)
- [4] Davidovits, J., 30 Years of Successes and Failures in Geopolymer Applications. Market Trends and Potential Breakthroughs. *Geopolymer Conference*. 2002. Australia
- [5] Hardjito, D., Wallah, S.E., Sumajouw, D.M.J., Rangan, B.V., Fly Ash-Based Geopolymer Concrete. *Australian Journal of Structural Engineering*. 2005. Australia. Vol.6 No. 1
- [6] Davidovits, J., High-Alkali Cements for 21st Century Concretes . *ACI Concrete International*. 1994. Vol 144 (383-397).
- [7] Rangan, B.V, Hardjito, D, Wallah, S.E, Sumajouw, D.M.J., Properties and Applications of Fly Ash-Based Concrete. *Materials Forum*. 2006. Australia. Vol.30 (170-175).
- [8] ASTM C618., Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete. *ASTM International*. 2017. West Conshohocken.
- [9] Triwulan., Ekaputri, J.J., Adiningtyas, T., Analisa Sifat Mekanik Beton Geopolimer Berbahan Dasar *Fly Ash* dan Lumpur Porong Kering Sebagai Pengisi. *Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sipil 'Torsi'*. 2007. Surabaya. No.3 ISSN 0853-6341.
- [10] Putra, K.P., Wallah, S.E., Dapas, S.O., Kuat Tarik belah Beton Geopolimer Berbasis Abu Terbang (Fly Ash). *Jurnal Sipil Statik*. 2014. Manado. Vol. 2 No.7 (330-336) ISSN 2337-6732.
- [11] Marthin, D.J, Sumajouw D.M.J, Reky, S.W., Kuat Tekan Beton Geopolymer Berbahan Dasar Abu Terbang (Fly Ash). *Jurnal Sipil Statik*. 2014. Manado. Vol. 2 No.6 (277-282).
- [12] Mulyana, F., Yolanda, T., Studi Properties Beton Geopolimer Sebagai Subtitusi Beton Konvensional. *Skripsi Universitas Diponegoro*. 2017. Semarang
- [13] Utomo, J.P., Kosnatha., Komposisi dan Karakteristik Beton Geopolimer dari Fly Ash Tipe C dan Tipe F. *Bachelor Thesis, Petra Cristian University*. 2007. Surabaya
- [14] Bakkali, H., et al., Microstructure of Different NaOH Molarity of Fly Ash-Based Green Polymeric Cement. *Journal of Engineering and Technology Research*. 2011. Perlis Malaysia. Vol. 3 No. 2 (44-49)
- [15] Bakkali, H., et al., Effect of Na₂SiO₃/NaOH Molarities on Compressive Strength of Fly-Ash-Based Geopolymer. *ACI Material Journal*. 2012. Perlis Malaysia. Vol. 109 No. 5 (503-508)
- [16] Bakkali, H., Ammari, M., Frar, I., NaOH Alkali-Activated Class F Fly Ash: NaOH molarity, Curing Conditions and Mass Ratio Effect. *J. Mater. Environ. Sci*. 2016. Morocco. Vol.7 No.2 (397-401)
- [17] Hardjito, D., Cheak, C.C., Ing, C.H.L., Strength and Setting Times of Low Calcium Fly Ash-Based Geopolymer Mortar. *Modern Applied Science*. 2008. Malaysia. Vol. 2 No. 4
- [18] Olivia, M., Nikraz, H.R., Strength and Water Penetrability of fly Ash Geopolymer Concrete. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2011. Riau. Vol.6 No.7 (70-78)
- [19] Han, A.L., Harijanto., Broader Use of Concrete Mix Design That Limit Cement Content. *Task Force Environmental Aspect FIB-Indonesia*. 2017. Indonesia