

ANALISIS PEMAKAIAN KOMBINASI FLY ASH TIPE F DAN SLAG 1:1 PADA BETON GEOPOLYMER DENGAN Na_2SiO_3 DAN NaOH SEBAGAI ALKALI AKTIVATOR: SEBUAH KAJIAN LITERATUR

ANALYSIS OF 1:1 FLY ASH TYPE F AND SLAG COMBINATION IN GEOPOLYMER CONCRETE USING Na_2SiO_3 AND NaOH AS ALKALINE ACTIVATOR: A LITERATURE STUDY

Mochamad Solikin

Department of Civil Engineering, Universitas Muhammadiyah Surakarta,
Jl. A. Yani Pabelan Kartasura Tromol Pos I Surakarta Post Code 57102,
e-mail: msolikin@ums.ac.id

ABSTRAK

Upaya yang dapat diterapkan oleh para ahli untuk mengurangi gas CO_2 dan pemanasan global yang disebabkan dari proses produksi semen adalah pengembangan pembuatan beton yang ramah lingkungan salah satunya beton *geopolymer*. Beton *geopolymer* dibuat dengan material utamanya mengandung silika tinggi dan alumina antara lain *fly ash* tipe F dan *slag*, yang dicampur dengan alkali aktivator berupa Na_2SiO_3 dan NaOH . Dikarenakan *slag* lebih mahal maka beberapa peneliti mencampurkan *fly ash* tipe F agar biaya pembuatan beton lebih murah. Studi literatur ini bertujuan untuk menganalisis kuat tekan beton *geopolymer* kombinasi *slag* dan *fly ash* tipe F 1:1, metode *curing* terhadap kuat tekan, dan biaya pembuatan beton *geopolymer*. Metode studi literatur ini dengan cara mengumpulkan data sekunder dari jurnal yang sudah dipublikasikan. Hasil pembahasan kuat tekan beton *geopolymer* dengan kombinasi *fly ash* dan *slag* 1:1 kuat tekan tertinggi pada molaritas 16M sebesar 65,17 MPa dan terendah 8M sebesar 51,7 MPa. Dengan metode *curing oven* selama 24 jam dapat meningkatkan kuat tekan karena proses polimerisasi dan polikondensasi dapat berlangsung secara optimal. Perbedaan harga antara beton *geopolymer* kombinasi *fly ash* dan *slag* 1:1 dengan beton normal sebesar 40% lebih mahal hal ini disebabkan penggunaan alkali aktivator sebagai bahan pengikat pada beton *geopolymer* yang masih mahal di pasaran Indonesia.

Kata Kunci: beton *geopolymer*, *fly ash* tipe F, *slag*, kuat tekan, *curing*, harga.

ABSTRACT

Efforts that can be applied by experts to reduce CO_2 gas and global warming caused by the cement production process are the development of environmentally friendly concrete manufacture, one of which is geopolymer concrete. Geopolymer concrete is made with the main material containing high silica and alumina between type F fly ash and slag, which is mixed with the activator alkaline in the form of Na_2SiO_3 and NaOH . Because slag is more expensive, some researchers mix type F fly ash so that the cost of making concrete is cheaper. This literature study aims to analyze the compressive strength of geopolymer concrete with a combination of slag and fly ash type F 1:1, the curing method for compressive strength, and the cost of making geopolymer concrete. This literature study method is by collecting secondary data from published journals. The results of the discussion of the compressive strength of geopolymer concrete with a combination of fly ash and slag 1:1, the highest compressive strength at 16M molarity is 65,17 MPa and the lowest is 8M at 51,7 MPa. With the oven curing method for 24 hours, it can increase the compressive strength because the polymerization and polycondensation processes can take place optimally. The price difference between fly ash and slag 1:1 combination geopolymer concrete and normal concrete is 40% more expensive, this is due to the use of an alkaline activator as a binder in geopolymer concrete which is still expensive in the Indonesian market.

Keywords: geopolymer concrete, type F fly ash, slag, compressive strength, curing, price.

PENDAHULUAN

Beton merupakan material yang banyak digunakan dalam pembangunan pada dunia konstruksi dan terus meningkat dari tahun ke tahun khususnya di Indonesia. Hal ini disebabkan material pembuatan beton tersebut mudah untuk diperoleh seperti kerikil, pasir, dan semen. Selain mudah diperoleh dalam segi material, beton juga memiliki kelebihan antara lain yaitu memiliki kuat tekan yang cukup tinggi, beton segar dapat dengan mudah diangkut maupun dicetak, dan tahan terhadap pengaruh temperatur tinggi (Pane, 2015). Bahan penyusun beton salah satunya yaitu semen yang berfungsi sebagai perekat antar material. Sebelum ditemukannya semen sebagai bahan perekat antar material beton, kapur merupakan bahan material konstruksi tradisional di Mesir kuno yang berfungsi sebagai perekat pada mortar (Rochmanto, 2019). Semen baru ditemukan oleh Joseph aspidin pada awal abad ke 19 yang digunakan sampai sekarang dalam pembuatan beton (Alkhaly dkk, 2015).

Pada umumnya beton yang digunakan memerlukan semen *portland* sebagai bahan pengikat antar material sehingga, memicu penggunaan semen yang semakin banyak yang mempunyai dampak kurang baik terhadap lingkungan. Berdasarkan data Asosiasi Semen Indonesia (ASI) permintaan semen domestik meningkat 7,6% secara tahunan, pada tahun 2017 menjadi 66,35 juta ton dan akan terus meningkat dari tahun ke tahun dengan meningkatnya kebutuhan sarana dan prasarana. Industri semen menjadi salah satu penyumbang emisi gas CO_2 di udara karena untuk memproduksi 1 ton semen dihasilkan juga gas CO_2 kurang lebih 1 ton yang dilepaskan ke lingkungan (McCaffrey, 2002). Industri beton dengan menggunakan semen *portland* secara global menghasilkan 5%-8% karbon dioksida (CO_2) yang merupakan penyumbang utama emisi gas terhadap pemanasan global yaitu sebesar 65% berasal dari 2 sumber yaitu penggunaan energi dan proses kalsinasi (Vijia, 2012). Sehingga dibutuhkan sebuah upaya atau solusi

untuk meminimalisir penggunaan semen yang berlebihan sebagai material pembuatan bangunan.

Salah satu upaya yang dapat diterapkan oleh para ahli untuk mengurangi gas CO₂ dan pemanasan global yang disebabkan dari proses produksi semen adalah pengembangan pembuatan beton yang ramah lingkungan dengan bahan ikat anorganik seperti alumina-silika *polymer* biasanya disebut dengan *geopolymer* (Davidovits, 1999). Beton *geopolymer* terbentuk dari proses reaksi kimia bukan dari reaksi hidrasi seperti beton normal (Chau-Khun Ma dkk, 2018). Beton *geopolymer* juga lebih ramah lingkungan karena material yang digunakan terdapat pada bahan pembuangan industri pembangkit listrik tenaga uap, peleburan baja, maupun dari alam (misalnya : *fly ash*, *slag*, abu sekam padi, dan tanah liat yang mengandung silika dan alumina), sehingga dapat mengurangi penggunaan semen yang berlebihan sebagai bahan baku pembuatan beton. Seorang ilmuwan Prof D Davidovits pada tahun 1978 menemukan sebuah perekat alternatif sebagai pengganti semen yang dikenal dengan *geopolymer*

Pada umumnya perekat yang digunakan pada beton *geopolymer* yaitu campuran antara natrium hidroksida (NaOH) dan natrium silikat (Na₂SiO₃) yang berfungsi mengikat antar material beton *geopolymer* (Hardjito, 2005). Beton *geopolymer* dibuat dengan cara mencampurkan larutan NaOH dan Na₂SiO₃ yang biasanya dikenal alkali aktivator terlebih dahulu kemudian mencampurkan semua material ke dalam mixer. Cara pencampuran seperti ini disebut dengan metode pencampuran basah (Yasin, 2017). Na₂SiO₃ mempunyai peranan dalam proses polimerisasi karena mempunyai fungsi untuk mempercepat reaksi polimerisasi, sedangkan NaOH merupakan oksidasi alkali yang reaktif dan merupakan basa yang kuat berfungsi untuk mereaksikan unsur-unsur Al dan Si yang terkandung dalam *fly ash* sehingga dapat menghasilkan ikatan yang kuat (Titi & Arie, 2016). Beton *geopolymer* juga mempunyai karakteristik maupun sifat yang berbeda dari beton konvensional.

Sifat-sifat beton *geopolymer* tersebut mempunyai durabilitas tinggi terhadap serangan sulfat dan porositas yang rendah. Sifat-sifat tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain material yang digunakan, perbandingan alkali aktivator, proses pencampuran, dan proses *curing* (Lairenz dkk, 2019). Beton *geopolymer* memiliki durabilitas lebih baik bila dibandingkan dengan beton normal dilihat dari kemampuan untuk mempertahankan bentuknya, beton *geopolymer* sedikit mengalami terlepasnya beton dalam kondisi lingkungan asam sulfat (Wijaya, 2017). Dengan menggunakan *fly ash* sebagai material pengganti semen dengan ukuran partikel kecil sehingga beton yang dihasilkan akan padat karena rongga-rongga pada beton terisi oleh *fly ash* dengan menghasilkan beton yang padat menunjukkan memiliki porositas yang rendah (Fitriahsari, 2018). Beton *geopolymer* merupakan beton dengan material utamanya mengandung silika tinggi dan alumina yang dapat menggantikan semen sebagai bahan pengikat antar material (Manuahe, 2014).

Material yang mengandung silika tinggi yaitu *fly ash* atau abu terbang merupakan sisa dari pembakaran batubara pada pembangkit tenaga uap yang berbentuk halus dan bersifat pozolan. Berdasarkan SNI 2460:2014 tentang spesifikasi abu terbang batu bara dan pozolan alam mentah atau yang telah di kalsinasi tipe *fly ash* tipe F kadar SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ > 70%. *Fly ash* tipe F tergolong pada *low calcium fly ash* dengan kadar CaO < 10% yang memiliki sifat pozolan ASTM C 618-78. Selain itu juga mempunyai keunggulan untuk meningkatkan durabilitas dan kepadatan (*density*) beton serta mengurangi penyusutan beton (Nugraha & Antoni, 2007). Secara umum *fly ash* tipe F sebagai bahan dasar pembuatan beton *geopolymer* menunjukkan perkembangan kuat tekan yang lebih lambat pada kondisi suhu ruang (Law, 2014). Selain *fly ash* material yang berpotensi digunakan sebagai campuran beton *geopolymer* yaitu *slag*.

Slag merupakan hasil residu pembakaran tanur tinggi yang dihasilkan oleh industri peleburan baja dengan bahan penyusun

biji besi, kapur, silika, dan alumina dengan suhu 1500°C-1600°C (Justin, 2018). Kandungan kimia pada *slag* dari hasil pengujian XRF yang dilakukan oleh Wardhono (2015) yaitu SiO₂ 33,45%; Al₂O₃ 13,46%; Fe₂O₃ 0,31%; SO₃ 6,08%; dan CaO 41,74% dari pengujian kandungan kima pada *slag* dengan menggunakan XRF menunjukkan bahwa banyak mengandung silika, alumina, dan kalsium tinggi. Dengan kandungan kalsium tinggi yang terkandung pada *slag* dapat meningkatkan kuat tekan, durabilitas, dan tahan terhadap serangan sulfat (Yadaf, 2016).

Dari kedua material tersebut penggunaan *slag* menghasilkan kuat tekan yang tinggi dimana pada *slag* mengandung kadar kalsium yang lebih tinggi dibandingkan dengan kadar kalsium pada *fly ash* tipe F (Keerthy, 2017). Dari kedua material tersebut *fly ash* memiliki harga yang lebih murah dibandingkan dengan *slag* sehingga, beberapa peneliti menggunakan *fly ash* tipe F untuk mengurangi penggunaan *slag*. Dengan memanfaatkan *slag* dan *fly ash* sebagai alternatif atau inovasi untuk menggantikan bahan semen juga dapat mengurangi dampak buruk terhadap lingkungan karena dapat mengurangi emisi CO₂ yang dihasilkan dari proses produksi semen.

Pada studi literatur ini dilakukan dengan tujuan untuk menganalisis kuat tekan beton *geopolymer fly ash* tipe F dan *slag* perbandingan 1:1 dengan variasi molaritas NaOH dan variasi rasio alkali aktivator. Pada studi literatur ini juga menganalisis pengaruh suhu *curing* terhadap kuat tekan beton *geopolymer* serta biaya yang digunakan untuk membuat 1 m³ beton *geopolymer* dan beton normal. Sehingga beton *geopolymer* berbahan dasar *fly ash* dan *slag* dapat dijadikan sebagai terobosan baru untuk mengurangi penggunaan semen portland di Indonesia dan dapat mengurangi biaya pembuatan beton *geopolymer* 100% *slag* dengan penggunaan substitusi *fly ash* tipe F yang lebih murah.

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan yaitu studi literatur dengan cara pengumpulan data sekunder dari jurnal ilmiah yang sudah dipublikasikan dalam bentuk jurnal dari tahun 2015-2020. Dalam jurnal tersebut dipilih pemakaian binder yaitu *fly ash* tipe F dan *slag* dengan perbandingan 1:1, 100% *fly* tipe F, 100% *slag*. Batasan molaritas yang dianalisis pada kuat tekan dengan menggunakan kombinasi binder *fly ash* dan *slag* 1:1, 100% *fly ash*, 100% *slag* yaitu 8M, 12M, dan 16M sedangkan pada kuat tekan dengan rasio alkali aktivator 0,5; 2; dan 2,5; menggunakan molaritas 8M dan 12M. Batasan molaritas yang dianalisis pada metode *curing* dan perbedaan harga beton yaitu menggunakan 8M dan 12M dengan rasio 2,5. Jumlah jurnal yang digunakan sebanyak 20 jurnal dari internasional dan nasional dengan rentang tahun 2015-2020 yang dapat dilihat pada Tabel 1.

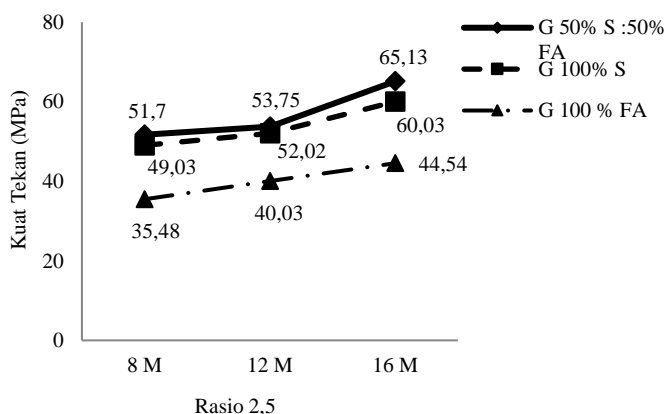
Tabel 1. Daftar jurnal yang digunakan sebagai data sekunder

No	PENULIS	DATA							
		KUAT TEKAN				CURING		Biaya	Tahun
		1:1	100% S	100% FA	Rasio Alkali Aktivator	Oven	Outdoor		
1	B. Sarath Chandra Kumar Dan Kumar Ramesh		√						2018
2	B. Sarath Chandra Kumar Dan Kumar Ramesh		√						2017
3	P. Malleswara Rao		√						2017
4	Uday Kiran Danda		√					√	2020
5	Srinivasan K		√						2020
6	Jianhe Xie, Junjie Wang, Rui Rao, Chonghao Wang, Dan Chi Fang	√							2018
7	G. Malikarjuna Rao Dan T.D. Guneswara Rao	√				√	√		2015
8	Ramamohana Reddy Bellum, Karthikeyan Muniraj, Dan Sri Rama Chand Madduru	√						√	2020
9	Subhashini Gatti	√							2017
10	R. Gopalakrishnan	√						√	2019
11	Suman Saha	√							2017
12	S. Jeeva Chithambaram, Sanjay Kumar, Madan M. Prasad Dan Dibyendu Adak			√				√	2017
13	M. S. Girawale			√					2015
14	Faiz Uddin Ahmed Shaikh			√				√	2016
15	Aanal Shah				√	√	√		2017
16	Monita Olivia, Budi Indrawan, Dan Iskandar R Sitompul							√	2019
17	V. Keerthy Dan Y. Himath Kumar				√				2017
18	N. Durga Prasad Dan Y. Himath Kumar				√				2017
19	Ramamohana Reddy Bellum, Karthikeyan Muniraj, Dan Sri Rama Chand Madduru				√				2019
20	Malikarjuna Rao Goriparthi					√	√		2017

HASIL DAPEMBAHASAN

Kuat tekan beton *geopolymer* dengan kombinasi *fly ash* tipe F dan *slag*

Kuat tekan beton adalah besarnya beban maksimum persatuan luas, yang menyebabkan benda uji beton menjadi hancur bila dibebani dengan gaya beban tertentu yang dihasilkan oleh mesin kuat tekan. Pada studi literatur ini menggunakan bahan pengganti semen dengan kombinasi *fly ash* tipe F dan *slag* perbandingan 1:1, 100% *fly ash*, 100% *slag* dengan molaritas NaOH 8M, 12M, dan 16M dengan rasio alkali aktivator 2,5. Dimana rasio alkali aktivator adalah perbandingan antara sodium silikat dan sodium hidroksida. Cara untuk memperoleh data tersebut dengan mencari jurnal dimana jurnal tersebut menggunakan 50% S : 50% FA, 100% S, dan 100% FA tanpa ada campuran bahan adiktif lainnya dengan umur pengujian kuat tekan 28 hari. Didapatkan data kuat tekan rata-rata yang dapat dilihat pada Gambar 1. Nilai kuat tekan pada penggunaan 100% FA sebesar 35,48 MPa diperoleh dari rata-rata 2 jurnal, nilai kuat tekan 40,03 MPa diperoleh dari rata-rata 2 jurnal, dan nilai kuat tekan 44,54 MPa diperoleh dari rata-rata 1 jurnal. Nilai kuat tekan pada penggunaan 100% S sebesar 49,03 MPa diperoleh dari rata-rata 3 jurnal, nilai kuat tekan 52,02 MPa diperoleh dari rata-rata 3 jurnal, dan nilai kuat tekan 60,03 MPa diperoleh dari rata-rata 2 jurnal. Nilai kuat tekan pada penggunaan 50% S : 50% FA sebesar 51,7 MPa diperoleh dari rata-rata 3 jurnal, nilai kuat tekan 53,75 MPa diperoleh dari rata-rata 3 jurnal, dan nilai kuat tekan 65,13 MPa diperoleh dari rata-rata 2 jurnal.



Gambar 1. Hubungan Antara Molaritas Dan Kuat Tekan Beton *Geopolymer* Kombinasi *Fly Ash* Tipe F Dan *Slag* 1:1, 100% *Slag*, Dan 100% *Fly Ash* Tipe F

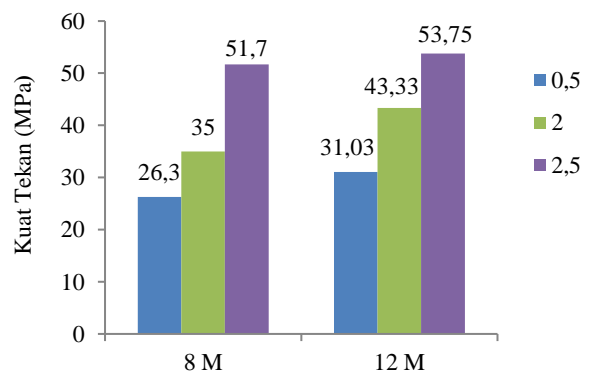
Dari grafik Gambar 1 menunjukkan bahwa kuat tekan beton *geopolymer* dengan menggunakan 100% *fly ash* selalu menghasilkan kuat tekan yang lebih rendah dibandingkan dengan penggunaan 100% *slag* pada seluruh variasi molaritas. Dari penggunaan 100% *fly ash* tipe F dan 100% *slag* kuat tekan yang paling tinggi dihasilkan pada molaritas 16M sedangkan paling rendah pada molaritas 8M. Pada molaritas 8M kuat tekan G 100% FA lebih rendah 27,63 % dari G 100% S, pada molaritas 12M kuat tekan G 100% FA lebih rendah 23,04 % dari G 100%, dan molaritas 16M kuat tekan G 100% FA lebih rendah 25,80 % dari G 100%. Perbedaan kuat tekan yang signifikan terjadi karena *fly ash* tipe F tergolong pada *low calcium fly ash* dengan kadar CaO < 10% yang memiliki sifat *pozzoland* (ASTM C 618-78) rendahnya kandungan CaO pada *fly ash* tipe F menyebabkan proses pengerasan menjadi lambat (Adelafani, 2018). Sedangkan pada *slag* terdapat kandungan CaO yang lebih tinggi

dibandingkan dengan *fly ash* tipe F dimana dengan kandungan CaO yang tinggi dapat meningkatkan kuat tekan beton *geopolymer* (Satria, 2016). Hal ini dibuktikan oleh penelitian yang telah dilakukan oleh Rao (2015) dengan penambahan *slag* 100% kuat tekan yang dihasilkan lebih tinggi dibandingkan dengan penggunaan 100% *fly ash* tipe F.

Perbedaan kuat tekan yang hampir sama terdapat pada penggunaan kombinasi *fly ash* dan *slag* dengan perbandingan 1:1 dibandingkan dengan penggunaan 100% *slag*. Kuat tekan yang paling tinggi pada penggunaan kombinasi *slag* dan *fly ash* dengan perbandingan 1:1 terdapat pada molaritas 16M sedangkan kuat tekan terendah terjadi pada molaritas 8M. Kuat tekan G 50% FA dan 50% S untuk molaritas 8M, 12 M dan 16M berturut-turut sebesar 5,45%, 3,33% dan 8,50 % di atas G 100% S. Dengan menggabungkan *fly ash* dan *slag* dapat meningkatkan kuat tekan hal ini terjadi karena pembentukan hidrat aluminosilikat dan gel kalsium silikat hidrat secara bersamaan pada *fly ash* dan *slag* (El-Hassan & Ismail, 2017). Pada material *fly ash* tipe F terdapat kandungan senyawa Si dan Al yang tinggi dengan bantuan natriumhidroksida yang terdapat pada alkali aktivator akan bereaksi dengan Al dan Si tersebut yang akan membentuk ikatan polimer yang kuat (Purnamasari, 2018). Pada *slag* sendiri terdapat kandungan senyawa CaO yang tinggi dimana CaO akan bereaksi dengan air yang akan menghasilkan kapur padam atau Ca(OH)₂ sehingga akan menyerap CO₂ di udara bebas dengan proses kimia yang akan menghasilkan CaCO₃ yang bersifat padat dan keras (Arifin, 2018).

Dari gambar 1 menunjukkan dengan bertambahnya kadar molaritas dari NaOH akan meningkatkan kuat tekan beton *geopolymer*. Dari ketiga grafik menunjukkan kuat tekan yang paling tinggi pada molaritas 16M sedangkan paling rendah 8M. Hal ini disebabkan karena binder yang menggunakan larutan NaOH 16M lebih pekat jika dibandingkan dengan binder yang menggunakan larutan 8M oleh sebab itu jumlah rongga binder 16M lebih sedikit. Hal ini karena dipengaruhi oleh kekentalan atau kepekatan yang dimiliki larutan NaOH yang berhubungan dengan semakin berkurangnya air yang dicampur dalam larutan sehingga jumlah pori yang tertutup semakin banyak dan beton menjadi padat dan kuat (Ekaputri, 2013). Dibuktikan pada penelitian yang dilakukan oleh Shah (2017) dengan semakin tinggi molaritas NaOH yang digunakan semakin bertambah kuat tekan yang dihasilkan.

Selain molaritas sifat mekanik beton *geopolymer* juga dipengaruhi oleh rasio alkali aktivator yang dapat meningkatkan maupun menurunkan kuat tekan beton. Pada pembahasan yang selanjutnya berfokus pada penggunaan binder *fly ash* dan *slag* dengan perbandingan 1:1. Didapatkan data kuat tekan dengan berbagai rasio alkali aktivator diantaranya 0,5 ; 2 ; dan 2,5 sebagai data pembandingan yang diperoleh dari 4 jurnal dengan batasan penggunaan molaritas 8M dan 12M yang dapat dilihat pada Gambar 2.



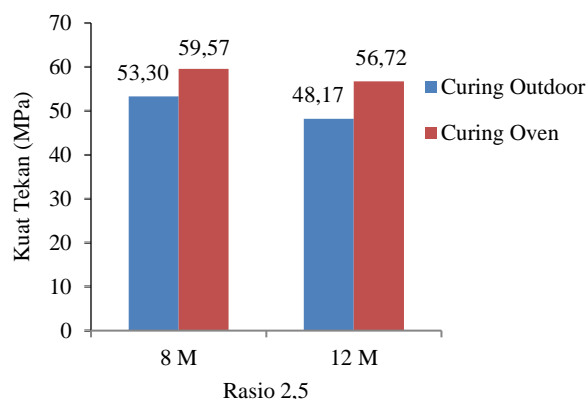
Gambar 2. Hubungan Kuat Tekan Penggunaan *Fly Ash* Dan *Slag* 1:1 Dengan Variasi Rasio Alkali Aktivator

Dapat dilihat pada Gambar 2 menunjukkan pada kedua molaritas kuat tekan terendah terjadi pada penggunaan rasio 0,5 sedangkan kuat tekan tertinggi terjadi pada penggunaan rasio 2,5. Pada kedua molaritas juga menunjukkan seiring bertambahnya rasio alkali aktivator, kuat tekan yang dihasilkan juga meningkat. Menurut Hardjito (2005) bahwa penggunaan perbandingan massa Na_2SiO_3 dan NaOH yang paling efektif digunakan adalah 2,5 pada beton *geopolymer*.

Selain rasio alkali aktivator kuat tekan beton *geopolymer* juga dipengaruhi oleh molaritas. Pada gambar 2 menunjukkan dengan bertambahnya kadar molaritas dari NaOH akan meningkatkan kuat tekan beton *geopolymer*. Hal ini karena dipengaruhi oleh kekentalan atau kepekatan yang dimiliki larutan NaOH yang berhubungan dengan semakin berkurangnya air yang dicampur dalam larutan sehingga jumlah pori yang tertutup semakin banyak dan beton menjadi padat dan kuat (Ekaputri, 2013). Dibuktikan pada penelitian yang dilakukan oleh Shah (2017) dengan semakin tinggi molaritas NaOH yang digunakan semakin bertambah kuat tekan yang dihasilkan.

Curing beton geopolymer dengan kombinasi fly ash dan slag 1:1

Dalam proses geopolymerisasi beberapa parameter digunakan untuk memperbaiki sifat mekanik beton *geopolymer* salah satunya metode *curing*. Metode *curing* yang dibahas pada studi literatur ini berfokus pada *curing outdoor* dan *curing oven*. *Curing outdoor* yang dilakukan yaitu dengan cara perawatan pada beton *geopolymer* dengan membiarkan beton setelah dilepas dari bekisting dengan suhu ruang selama 28 hari sedangkan *curing oven* yaitu perawatan pada beton *geopolymer* dengan cara setelah dilepas dari bekisting beton di oven terlebih dahulu selama 24 jam kemudian dilakukan *curing outdoor*. Diperoleh data kuat tekan dengan molaritas 8 M dan 12 M dengan rasio alkali activator 2,5 dengan umur pengujian 28 hari, sehingga didapatkan data kuat tekan rata-rata dengan metode *curing* yang berbeda yang dapat dilihat pada Gambar 3. Data kuat tekan dengan molaritas 8 M dengan metode *curing outdoor* dan *curing oven* sebesar 53,30 MPa dan 59,57 MPa diperoleh dari rata-rata 2 jurnal. Sedangkan data kuat tekan pada molaritas 12 M dengan metode *curing outdoor* dan *curing oven* sebesar 48,17 MPa dan 56,72 MPa diperoleh dari rata-rata 2 jurnal. Temperature yang digunakan untuk *curing oven* kedua molaritas dengan suhu 60 °C.



Gambar 3. Pengaruh Metode *Curing* Terhadap Kuat Tekan Beton *Geopolymer* Dengan Penggunaan *Fly Ash* Dan *Slag* 1:1

Dari hasil yang disajikan pada Gambar 3 tersebut dapat dilihat dari hasil grafik kuat tekan dengan rasio alkali activator

2,5 dengan molaritas 8M menunjukkan peningkatan kuat tekan dengan menggunakan *curing oven* untuk 8 M dan 12 M masing-masing adalah sebesar 11.76% dan 17.75%. Dimana rasio alkali activator merupakan perbandingan antara massa Na_2SiO_3 dan NaOH . Dari kedua molaritas menunjukkan dengan metode *curing oven* menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode *curing outdoor*.

Perbedaan kuat tekan pada kedua metode terjadi karena perbedaan suhu pada saat *curing* hal ini dipengaruhi oleh proses polimerisasi yang terjadi antara reaksi kimia alkalin dengan Si dan Al pada beton *geopolymer* yang semakin baik bila mendapatkan perlakuan dengan suhu tinggi (Yuwono, 2017). Selain perbedaan suhu *curing* kuat tekan beton *geopolymer* juga dipengaruhi oleh lamanya pada saat *curing oven* yang dibuktikan oleh penelitian yang dilakukan oleh (Manuaha, 2014) dengan melakukan *curing oven* selama 4 jam, 8 jam, 12 jam, dan 24 jam menghasilkan kuat tekan yang paling tinggi pada *curing oven* selama 24 jam. Dengan melakukan *curing oven* selama 24 jam proses polikondensasi dapat berlangsung secara optimal sehingga dapat berkaitan dengan baik dengan larutan natriumsilikat dan membentuk gel aluminosilikat semakin banyak (Malik, 2016).

Biaya pembuatan beton geopolymer dengan kombinasi fly ash tpe F dan slag 1:1

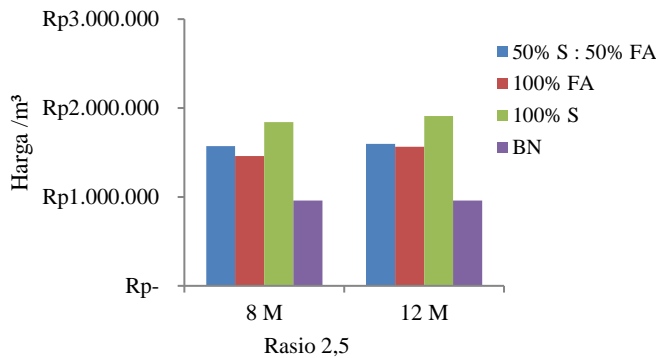
Material beton *geopolymer* berbeda dengan beton normal yaitu pada bahan pengikat yang digunakan dimana beton normal menggunakan semen sebagai bahan pengikat antar material sedangkan pada beton *geopolymer* menggunakan alkali aktivator sebagai bahan pengikat antar material yang terdiri antara natriumsilikat dan natriumhidroksida. Pada beton *geopolymer* 100% tidak menggunakan semen sebagai bahan pengikat melainkan menggunakan material yang mengandung silika tinggi contohnya *fly ash* dan *slag*. Didapatkan data dari 7 jurnal *mix design* untuk menghasilkan kuat tekan beton dengan f'_c antara 45 MPa-55 MPa dengan kebutuhan material 1 m³ yang di tunjukan pada Tabel 3. Dengan rincian pengambilan data sebagai berikut jenis beton G 50 % S: 50% FA diperoleh dari 2 jurnal, jenis beton G100% S diperoleh dari 2 jurnal, jenis beton G100% FA diperoleh dari 2 jurnal, dan jenis beton normar di peroleh dari 1 jurnal. Dari 7 jurnal tersebut kemudian didapatkan hasil perhitungan biaya yang diperoleh dari konversi kebutuhan material 1 m³ pembuatan beton *geopolymer* dan beton normal yang dikalikan dengan harga material dari Tabel 2 yang dapat dilihat pada Gambar 4.

Tabel. 2 Harga Material

Sumber	Daftar Harga Material	Kg
Alibaba.com	<i>Slag</i>	Rp. 700
Jurnal (REKAYASA BETON GEOPOLIMER BERBASIS FLY ASH)	<i>Fly Ash</i>	Rp. 117
	Agregat Halus	Rp. 150
Tokopedia.com	Na_2SiO_3	Rp. 20,000
	NaOH	Rp. 22,000
Harga di toko bangunan	Semen	Rp. 1,200

Tabel 3. Kebutuhan material beton normal dan beton *geopolymer* dalam 1m³

Jenis Beton	Molaritas	Semen Kg/m ³	Fly ash Kg/m ³	Slag Kg/m ³	Pasir Kg/m ³	Kerikil Kg/m ³	NaOH Kg/m ³	Na ₂ SiO ₃ Kg/m ³
Normal	-	532	-	-	592	1156	-	-
G 50 % S: 50% FA	8M	-	203.5	203.5	610	1120	14.883	37.208
	12M	-	200	200	688	1124	15.36	38.4
G100% S	8M	-	-	414	660	1166	16.96	42.4
	12M	-	-	414	686	1252	17.6	44
G100% FA	8M	-	408	-	554	1233	15.04	37.6
	12M	-	397	-	547	1277	16.384	40.96



Gambar 4. Perbedaan Harga Beton Geopolymer Dengan Kombinasi Pemakaian Slag Dan Fly Ash 1:1, 100% Slag, 100% Fly Ash Terhadap Beton Normal

Pada Gambar 4 menunjukkan harga yang paling tinggi pada kedua molaritas yaitu 8M dan 12M ditunjukkan pada penggunaan 100% slag yaitu dengan harga Rp 1.843.120 untuk beton *geopolymer* 8M sedangkan pada molaritas 12M dengan biaya sebesar Rp 1.910.300. Harga yang paling murah ditunjukkan pada pembuatan beton normal dengan biaya yang dibutuhkan untuk membuat 1 m³ beton sebesar Rp 947.717. Dilihat dari harga 1 m³ pada kedua molaritas beton *geopolymer* dengan penggunaan *fly ash* dan *slag* perbandingan 1:1 lebih mahal dibandingkan dengan beton normal. Perbedaan harga yang signifikan terjadi pada penggunaan 100% slag dibandingkan dengan beton normal sebesar 2 kali lipat dari harga beton normal. Perbedaan harga pada penggunaan kombinasi *fly ash* tipe F dan *slag* 1:1 dibandingkan dengan beton normal sebesar 40%. Pada kedua molaritas beton *geopolymer* 8M dan 12M menunjukkan bahwa molaritas 12M lebih mahal dibandingkan dengan penggunaan molaritas 8M. Adapun faktor yang menyebabkan perbedaan harga antara beton *geopolymer* dengan beton normal yaitu penggunaan larutan alkali aktivator yang terdiri dari natriumhidroksida dan natriumsilikat yang masih mahal di pasaran Indonesia. Perbedaan harga pada molaritas 12M lebih mahal disebabkan karena penggunaan kadar NaOH dan Na₂SiO₃ lebih banyak dibandingkan dengan penggunaan molaritas 8M.

PENUTUP Kesimpulan

Berdasarkan kajian yang dilakukan terhadap literatur yang tersedia, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan diantaranya :

- 1). Berdasarkan data kuat tekan yang diperoleh kuat tekan beton *geopolymer* dengan penggunaan kombinasi *fly ash* tipe F dan *slag* 1:1 menghasilkan kuat tekan tertinggi pada molaritas 16M sebesar 65,17 MPa dan terendah pada molaritas 8M sebesar 51,7 MPa.
- 2). Bertambahnya kadar molaritas pada beton *geopolymer* dapat meningkatkan kuat tekan yang disebabkan karena kekentalan atau kepekatan yang dimiliki larutan NaOH sehingga jumlah pori yang tertutup semakin banyak dan beton menjadi padat dan kuat.
- 3). Sifat mekanik beton *geopolymer* berupa nilai kuat tekan mengalami peningkatan dengan *curing* di dalam oven, hal ini karena proses polimerisasi semakin baik bila mendapatkan perlakuan dengan suhu tinggi dan dengan melakukan *curing oven* proses polikondensasi dapat berlangsung secara optimal.
- 4). Perbedaan harga antara beton *geopolymer* kombinasi *fly ash* tipe F dan *slag* dengan beton normal sebesar 40% disebabkan penggunaan larutan alkali aktivator sebagai bahan pengikat yang terdiri dari natrium hidroksida dan natrium silikat yang masih mahal di pasaran Indonesia.

Saran

Untuk mendapatkan hasil yang lebih baik dari studi literatur ini, maka saran untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

- 1). Berdasarkan hasil data kuat tekan pada studi literatur ini perlu adanya penelitian lebih lanjut dengan menggunakan variasi molaritas 14 M.
- 2). Perlu adanya penelitian lebih lanjut dengan menggunakan rasio alkali aktivator lebih dari 2,5.

Daftar Pustaka

- Adelafani, D. (2018). *Pengaruh Rasio W/S Terhadap Kuat Tekan Geopolymer Mortar Kondisi SS/SH 12 Molar 0,5 Dan 2,5*. Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya, pages 1-8.
- Alkhaly, Y. R., Cok Nando Panondang & Zulfahmi. (2015). *Kuat Tekan Beton Polimer Berbahan Abu Vulkanik Gunung Sinabung Dan Resin Epoksi*, Teras Jurnal, Volume.5 No 2, pages 125-132.
- Arifin, I. A. (2018). *Pengaruh Substitusi Limbah Marmer Fly Ash Terhadap Kuat Tekan Dan Porositas Beton Geopolimer Pada Molaritas 10M*, Rekayasa Teknik Sipil, Volume.1, pages 16-23.
- ASTM C 618-78. (1978). *Standard Specification For Fly Ash And Or Calcined Natural Pozzolan For Use As A Mineral Admixture In Portland Cement Concrete*. pages 363-366.
- Bellum R. R., Karthikeyan Muniraj, & Sri Rama Chand Madduru. (2019). *Empirical Relationships On Mechanical Properties Of Class-F Fly Ash And GGBS Based Geopolymer Concrete*. International Information And Engineering Technology Association, Volume.43 No.3, pages 189-197.
- Bellum R. R., Karthikeyan Muniraj, & Sri Rama Chand Madduru. (2020). *Exploration Of Mechanical And Durability Characteristics Of Fly Ash- GGBS Based Green Geopolymer Concrete*. Springer Nature Journal.
- BSN. (2014). *Spesifikasi Abu Terbang Batubara Dan Pozolan Alam Mentah Atau Yang Telah Dikalsinasi Untuk Digunakan Dalam Beton*. SNI-2460-2014, pages 1-11.
- Chau-Khun Ma, Abdullah Zawawi & Wahid Omar. (2018). *Structural And Material Performance Of Geopolymer Concrete: A review*. Construction And Building Material, Volume.186, pages 90-102.
- Chithambaram, S. J., Sanjay Kumar, Madan M. Prasad & Dibyendu Adak. (2017). *Effect of Parameters on The Compressive Strength of Fly Ash Based Geopolymer Concrete*. International Federation For Structural Concrete, pages 1-8.
- Davidovits. (1999). *Solidification Of Various Radioactive Residues By Geopolymers With Special Emphasis On Long-Term-Stability*. Geopolymer '99 Proceedings, pages 1-15.
- Danda, U. K. (2020). *Experimental study on reinforced geopolymer concrete columns using GGBS*. Material Today : Proceeding, pages 1-4.
- Ekaputri, J. J. (2013). *Sodium Sebagai Aktivator Fly Ash, Trass Dan Lumpur Sidoarjo Dalam Beton Geopolimer*. Jurnal Teknik Sipil, Volume.20, pages 1-9.
- El-Hassan, H., & Najif Ismail. (2017). *Effect Of Process Parameters On The Performance Of Fly Ash/GGBS Blended Geopolymer Composites*. Journal Of Sustainable Cement-Based Materials. pages 1-19.
- Fitriahsari, B. N. (2018). *Pengaruh Substitusi Fly Ash Dengan Limbah Marmer Terhadap Kuat Tekan Dan Porositas Beton Geopolimer Pada NaOH 15M*, Rekayasa Teknik Sipil, Volume.1, pages 10-15.
- Gatti, S. (2017). *A Comparative Study On Compressive Strength of Geopolymer Concrete Using Partial Replacement Of Cement With GGBS*. International Journal Of Recent Trends In Engineering & Research, pages 267-281.
- Girawale, M. S. (2015). *Effect's of Alkaline Solution On Geopolymer Concrete*. International Journal Of Engineering Research And General Science, Volume.3 No.4, pages 848-853.
- Gopalakrishnan, R. (2019). *Durability Of ambient Cured Alumina Silicate Concrete Based On Slag/Fly Ash Blends Against Sulfate Environment*. Construction And Building Materials, pages 70-83.
- Hardjito, D. (2005). *On The Development Of Fly Ash-Based*. ACI Materials Journal, Volume.101, pages 467-472.
- Justin, H. (2018). *Studi Experimental Beton Geopolimer Slag Dengan Variasi Kadar Silica Fume*, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Parahyangan, Bandung.
- Keerthy, V. (2017). *Experimental Studies On Properties Of Geopolymer Concrete With GGBS Fly Ash*. International Journal Of Civil Engineering And Technology, Volume.8, pages 602-609.
- Kumar, S. C., & Kumar Ramesh. (2017). *Experimental Study On Metakaolin And GGBS Based Geopolymer Concrete*. International Journal Of Engineering And Technology, Volume.9 No.2, pages 341-349.
- Kumar, B. S. C., & Kumar Ramesh. (2017). *Durability Studies Of Geopolymer GGBS And Metakaolin Based Geopolymer Concrete*. International Journal Of Engineering And Technology, Volume 8. No.1, pages 17-28.
- Lairenz, K. N., Ricky Surya, Djwantoro, & Antoni. (2019). *Pengaruh Komposisi Alkali Aktivator Dan Urutan Penyampuran Terhadap Karakteristik Mortar Geopolymer High Calcium Fly Ash*. Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kritis Petra, Surabaya. pages 178-185.
- Law, D. (2014). *Long Term Durability Properties Of Class F Fly Ash Geopolymer Concrete*. Material And Structure, Volume.48, pages 721-731.
- Malik, Y. (2016). *Studi Pengaruh Temperatur Dan Waktu Curing Terhadap Sifat Fisik-Mekanik*

- Semen Geopolimer Berbasis Slag Ferronikel*. Jurusan Teknik Material Dan Matalurgi, Fakultas Teknologi Industri, Institute Teknologi Sepuluh November, Surabaya.
- Mallikarjuna Rao Goriparthi and Gunneswara Rao T.D. (2017). *Effect Of Fly Ash And GGBS Combination On Mechanical And Durability Properties Of GPC*. Advances In Concrete Construction, Volume.5 No.4, pages 313-330.
- Manuahe, R. (2014). *Kuat Tekan Beton Geopolimer Berbahan Dasar Abu Terbang (Fly Ash)*, Jurnal Sipil Statik, Volume.2 No.6, pages 277-282.
- McCaffrey, R. (2002). *Climatet Change And The Cement Industry*.
- Nugraha, P., & Antoni. (2007). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: C.V Andi Offset.
- Olivia, M., Budi Indrawan, & Iskandar R Sitompul. (2013). *Sifat Mekanis Dan Rembesan Beton Mutu Tinggi Menggunakan Agregat Halus Pasir Laut Dan Bahan Tambah Silica Fume*. Jurnal Sains Dan Teknologi, Volume.12 No.1, pages 7-11.
- Pane, F. P. (2015). *Pengujian Kuat Tarik Lentur Beton Dengan Variasi Kuat Tekan Beton*, Jurnal Sipil Statik, Volume.3 No.5, pages 313-321.
- Prasad, N. D., & Y. Himath Kumar. (2017). *Study Of Behaviour Of Geopolymer Concrete With Respesct To Its Mechanical Properties Of GGS And Fly Ash*. International Journal Of Civil Engineering And Technology, Volume.8 No.2, pages 264-273.
- Purnamasari, A. A. (2018). *Pengaruh Variasi NaOH Terhadap Na₂SiO₃ Terhadap Kuat Tekan Dry Geopolymer Mortar Metode Dry Mixing Pada Kondisi Rasio Abu Terbang Terhadap Aktivator 3:1*. Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya, pages 1-7.
- Rao, G. (2015). *Final Setting Tie And Compresive Strength Of Fly Ash And GGBS-Based Geopolymer Paste And Mortar*. Departemen Of Civil Engineering, National Institute Of Teknology, Arab.
- Rao, P. M. (2017). *Study Of The Properties Of Metakiolin And GGBS Geopolymer Concrete*, International Journal Of Engineering And Technology, Volume 8. No.1, pages 565-574.
- Rochmanto, D. (2019). *Campuran Beton Geopolimer Dengan Binder :Fly Ash Dan Gypsum*. Jepara: UNISNU PRESS.
- Saha, S. (2017). *Enhancement Of The Properties Of Fly Ash Based Geopolymer Paste By Incorporating Ground Granulated Blast Furnace Slag*. Counstruction And Building Materials, pages 615-620.
- Satria, J. (2016). *Karakteristik Beton Geopolimer Berdasarkan Variasi Waktu Pengambilan Fly Ash*. Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra, Surabaya, pages 1-8.
- Shah, A. (2017). *Influence Of Alkaline Activators And Temperature On Strength Properties Of GGBS Based Geopolymer Concrete*. International Journal Of Civil Engineering, Volume.6, pages 21-28.
- Shah, A. (2017). *Optimum Utilization of GGBS in Fly Ash Based Geopolymer Concrete*. International Conference On Reserch And Innovations In Science Engineering Technology, Volume.1, pages 431-440.
- Shaikh, F. U. A. (2016). *Mechanical and Durability Properties of Fly Ash Geopolymer Concrete Containing Recycled Coarse Aggregat*. International Journal Of Sustainable Built Environment, pages 1-9.
- Srinavasan, K. (2017). *Durability Studies On The Slag Based Geopolymer Concrete Strength Ened With Steel Fibers*. International Journal Of Engineering And Technology, Volume 8. No.8, pages 239-250.
- Titu, D. S., & Arie Wardhono. (2016). *Pengaruh Penambahan Slag Terhadap Waktu Pengikatan Awal, Workability, Dan Kuat Tekan Pada Pembuatan Beton Geopolymer Pada Temperature Normal*. Rekayasa Teknik Sipil, Volume.2, pages 53-61.
- Vijia, K. (2012). *Properties Of Glass Fibre Reinforced Geopolymer Concrete Composites*. Asian Jurnal Of Civil Engineering (Building And Housing), Volume.13 No.4, pages 511-520.
- Wardhono, A. (2015). *The Strength Of Alkali Activated Slag/Fly Ash Mortar Blends At Ambient Temperature*. Procedia Engineering, Volume.125, pages 650-656.
- Wijaya, R. (2017). *Ketahanan Di Lingkungan Asam, Kuat Tekan Dan Penyusunan Beton Dengan 100% Fly Ash Pada Jangka Panjang*. Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra, Surabaya. pages 197-2013.
- Xie, J., Junjie Wang, Rui Rao, Chonghao Wang, & Chi Fang. (2018). *Effect Of Combined Usage Of GGBS And Fly Ash On Workability And Mechanical Properties Of Alkali Activated Geoolymer Concrete With Recycled Agregate*. School of Civil And Transportation Engineering, Guangdong University of Technology, China.
- Yadaf, S. (2016). *Experimental Stydy Of Based Geopolymer Concrete*. National Institute Of Tecnology Kurukshetra, India.
- Yasin, A. K. (2017). *Rekayasa Beton Geopolimer Berbasis Fly Ash*. Program Studi Diploma Empat Lanjut Jenjang Teknik Sipil, Institute Teknologi Sepuluh November, Surabaya.
- Yuwono, L. S. (2017). *Pengaruh Suhu Pemanasan Terhadap Kuat Tekan Mortar Geopolymer Berbahan Dasar Dengan Molaritas 8M Dan 10M*. Rekayasa Teknik Sipil, Volume.3 No.3, pages 63-69.