

PENGARUH PENGGUNAAN SOLID MATERIAL ABU TERBANG DAN ABU SEKAM PADA KUAT TEKAN BETON GEOPOLIMER

Angelina Eva Lianasari¹, Anggun Tri Atmajayanti², Bernadus Henri Efendi³ dan Nico Parulian Sitindaon⁴

^{1,2}Program Studi Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Jl. Babarsari 43 Yogyakarta

Email: eva@mail.uajy.ac.id, anggun@mail.uajy.ac.id

^{3,4}Alumni Program Studi Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Jl. Babarsari 43 Yogyakarta

ABSTRAK

Pemanasan global (*Global warming*) adalah permasalahan pokok yang merupakan dampak negatif dari perkembangan ilmu dan teknologi dewasa ini. Banyak aspek yang menjadi penyebab dari adanya permasalahan tersebut. Salah satu aspek yang menjadi kontributor utamanya adalah aspek dalam bidang dunia konstruksi, khususnya dalam proses produksi Semen Portland (SP). Pelepasan karbon dioksida (CO₂), yang merupakan kontributor utama pada emisi gas rumah kaca di atmosfer, dihasilkan dalam proses produksi SP. Beton Geopolimer merupakan salah satu solusi yang dapat ditawarkan untuk mengatasi permasalahan tersebut. Beton Geopolimer merupakan jenis beton yang dibuat tanpa menggunakan SP sebagai bahan pengikat. Dalam penelitian ini, pasta beton geopolimer terbuat dari *Alkaline Activator* yang berupa Sodium Silikat (Na₂SiO₃) dan Sodium Hidroksida (NaOH) serta *Solid Material* berupa Abu Terbang (*Fly Ash*) dan Abu Sekam Padi (*Rice Husk Ash*) yang memiliki kandungan SiO₂. Abu terbang berasal dari PLTU Paiton, Abu Sekam Padi berasal dari sisa pembakaran batu bata (dusun Tumut, kecamatan Moyudan, Godean, Yogyakarta), Pemakaian *Solid Material* berupa Abu Terbang dan Abu Sekam Padi dengan perbandingan 100:0, 95:5, 90:10, 85:15, 80:20, 75:25. Hasil pengujian kuat tekan beton berturut-turut sesuai dengan komposisi solid material umur 28 hari adalah 21.20305 MPa, 4.078025 MPa, 10.32331 MPa, 7.09309 MPa, 3.051927 MPa, 2.960489 MPa (100:0; 80:20; 60:40; 40:60; 20:80; 0:100). Beton geopolimer dengan komposisi abu terbang 100% dapat digunakan sebagai beton struktural, namun penggantian sebagian proporsi abu terbang dengan abu sekam padi dalam prekursor dapat menurunkan kuat tekan beton geopolimer cukup signifikan.

Kata kunci : beton geopolimer, kuat tekan, fly ash, abu sekam padi

1. PENDAHULUAN

Global warming merupakan permasalahan pokok akibat dampak negatif dari perkembangan ilmu dan teknologi. Banyak aspek yang menjadi penyebab permasalahan tersebut. Salah satu aspek yang menjadi kontributor utamanya adalah aspek dalam bidang dunia konstruksi, khususnya dalam proses produksi Semen Portland.

Pelepasan Karbon Dioksida (CO₂), yang merupakan kontributor utama pada emisi gas rumah kaca di atmosfer, dihasilkan dalam proses produksi Semen Portland. Secara keseluruhan, produksi Semen Portland dunia, memberikan kontribusi 1,6 juta ton CO₂ atau sekitar 7% dari pelepasan CO₂ ke atmosfer (Metha, 2001).

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan solusi yang tepat agar pembangunan di dunia konstruksi tetap berjalan sebagaimana mestinya dan produksi CO₂ sebagai dampak negatifnya dapat diminimalisir. Beton Geopolimer merupakan salah satu solusi yang dapat ditawarkan untuk mengatasi permasalahan tersebut. Beton Geopolimer terbentuk karena sintesa bahan-bahan alam nonorganik melalui proses polimerisasi. Bahan dasar utama yang diperlukan untuk pembuatan material geopolimer ini adalah bahan-bahan yang banyak mengandung unsur-unsur silica dan alumina. Unsur-unsur ini banyak didapati, di antaranya pada material buangan hasil sampingan industri, seperti misalnya abu terbang dari sisa pembakaran batu bara. Untuk melarutkan unsur-unsur silica dan alumina, serta memungkinkan terjadinya reaksi kimiawi, digunakan larutan yang bersifat alkalis. Material geopolimer ini digabungkan dengan agregat batuan kemudian menghasilkan beton geopolimer, tanpa menggunakan semen lagi.

Geopolimer dikatakan ramah lingkungan, karena selain dapat menggunakan bahan-bahan buangan industri, proses pembuatan beton geopolimer tidak terlalu memerlukan energi, seperti halnya proses pembuatan semen yang setidaknya memerlukan suhu hingga 800 derajat Celsius. Dengan pemanasan lebih kurang 60 derajat Celsius selama satu hari penuh sudah dapat dihasilkan beton yang berkekuatan tinggi. Karenanya, pembuatan beton geopolimer mampu menurunkan emisi gas rumah kaca yang diakibatkan oleh proses produksi semen hingga tinggal 20 persen saja (Djwantoro Hardjito, 2002).

Material dasar pembentuk pasta geopolimer adalah pozolan, baik dari alam maupun pozolan buatan. Material yang bersifat pozolan mengandung silika dan alumina dapat digunakan sebagai binder (pengikat). Diantaranya adalah *fly ash*, metakaolin, dan abu sekam atau material vulkanik (Davidovits, 2008). Dalam campurannya silika dan alumina direaksikan dengan larutan alkali sebagai aktivatornya. Untuk itu, diperlukan komposisi aktivator yang tepat sehingga bisa membentuk pasta geopolimer untuk mengikat agregat menjadi beton geopolimer. Aktivator yang umumnya digunakan adalah campuran Na_2SiO_3 dan NaOH dengan konsentrasi 8M sampai 14M. Perbandingan antara Na_2SiO_3 dan NaOH bisa diambil antara 0.4 sampai 2.5 (Hardjito et al., 2004)

Indonesia merupakan negara agraris penghasil bahan pangan diantaranya beras yang berasal dari tanaman padi. Limbah yang ditinggalkan dari tanaman padi cukup banyak yaitu batang (jerami) dan sekam. Sekam padi dan batang padi (jerami) bila dibakar dengan suhu tertentu menghasilkan silika amorf yang bersifat reaktif sehingga potensial untuk digunakan sebagai bahan mikrosilika. Pemanfaatan limbah untuk bahan konstruksi akan menunjang pengadaan bahan konstruksi, meningkatkan mutu bahan konstruksi, memberikan nilai tambah dan nilai guna limbah, menciptakan lapangan pekerjaan, dan mengurangi dampak negatif lingkungan (Lianasari, 2010)

Proses penggilingan padi menghasilkan sekam padi yang biasanya digunakan sebagai bahan bakar alternatif untuk pembakaran batu-bata atau dibakar begitu saja di area penggilingan padi. Proses pembakaran tersebut menghasilkan abu sekam padi yang belum banyak dimanfaatkan. Mengingat bahwa ternyata abu sekam padi memiliki kandungan SiO_2 yang cukup tinggi maka dapat dimanfaatkan sebagai mineral penyusun beton.

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan alternatif sumber pozolan yang bisa dimanfaatkan untuk membuat beton geopolimer di samping upaya untuk mengurangi limbah sekam padi dan memanfaatkan *fly ash* sebagai sumber utama pembuatan beton geopolimer.

2. MATERIAL PENYUSUN

Abu terbang merupakan salah satu material hasil sampingan (*by-product*) industri pada pembakaran batu bara yang dapat digunakan sebagai bahan pengikat pada beton geopolimer. Abu terbang dikategorikan dalam material pozzolan yakni material siliceous atau aluminous yang di dalamnya terdapat sedikit sekali atau tidak sama sekali material cementitious sebagaimana yang dimiliki Semen Portland. Material abu terbang dapat saja bereaksi secara kimia dengan cairan alkali pada suhu tertentu untuk membentuk material campuran yang memiliki sifat seperti semen. Abu terbang memiliki sifat pozzolanik mirip dengan material pozzolan yang secara natural terdapat di alam bebas, seperti pada abu dari gunung api atau material sedimen lainnya (ACI 232.2R-03).

Abu Sekam Padi merupakan salah satu material hasil sampingan (*by-product*) industri pada pembakaran batu bata dengan sekam padi. Material ini memiliki kandungan silika yang cukup besar. Abu sekam padi yang mengandung silika cukup tinggi dapat diperoleh dengan cara memanfaatkan limbah pembakaran batu bata. Batu bata yang dibakar sampai masak dengan menggunakan sekam padi akan menghasilkan limbah abu sekam padi yang mengandung silika tinggi (>70%) sehingga limbah tersebut potensial untuk dimanfaatkan sebagai bahan pozzolan. Pozzolan adalah bahan yang mengandung SiO_2 yang dapat bereaksi dengan Ca(OH)_2 , yang merupakan sisa hasil proses hidrasi semen, membentuk $3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ yang dapat meningkatkan kekuatan, kepadatan, serta kekedapan beton (Lianasari, 2010)

Kombinasi cairan Sodium Silikat dan Natrium Hidroksida digunakan untuk membantu terjadinya reaksi kimia dengan aluminium dan silika yang terdapat pada abu terbang dan abu sekam padi. Natrium Hidroksida merupakan senyawa alkali yang sangat reaktif apabila dicampur dengan air atau aquades. Natrium Hidroksida berbentuk padat dan berfungsi untuk mereaksikan Si dan Al sehingga menghasilkan ikatan polimerisasi yang kuat. Campuran *fly ash* dengan natrium hidroksida akan membentuk ikatan yang kuat, lebih padat dan tidak ada retakan (Septia, 2011). Sodium Silikat berbentuk gel dan berfungsi untuk mempercepat reaksi polimerisasi. Ketika dilarutkan dalam air atau *aquades*, sodium silikat akan membentuk larutan alkali.

Larutan NaOH yang dicampur dengan Na_2SiO_3 digunakan sebagai aktivator yang konsentrasinya divariasikan dari 8M sampai 14M. Perbandingan berat Na_2SiO_3 terhadap berat larutan NaOH juga bervariasi dari 0.5 sampai 2.5. Pengujian kuat tekan, kuat tarik belah, dan porositas dilakukan untuk membandingkan setiap benda uji dari komposisi yang berbeda. Hasil studi menunjukkan bahwa kuat tekan beton dipengaruhi oleh konsentrasi NaOH , perbandingan Na_2SiO_3 terhadap larutan NaOH dan penyusun material dasar bindernya (Ekaputri et al, 2013)

Aquades adalah air hasil penyulingan. *Aquades* digunakan sebagai bahan dasar campuran cairan *alkaline activator* yang nantinya akan dicampur dengan material lainnya (abu terbang dan abu sekam padi) sehingga menghasilkan pasta geopolimer.

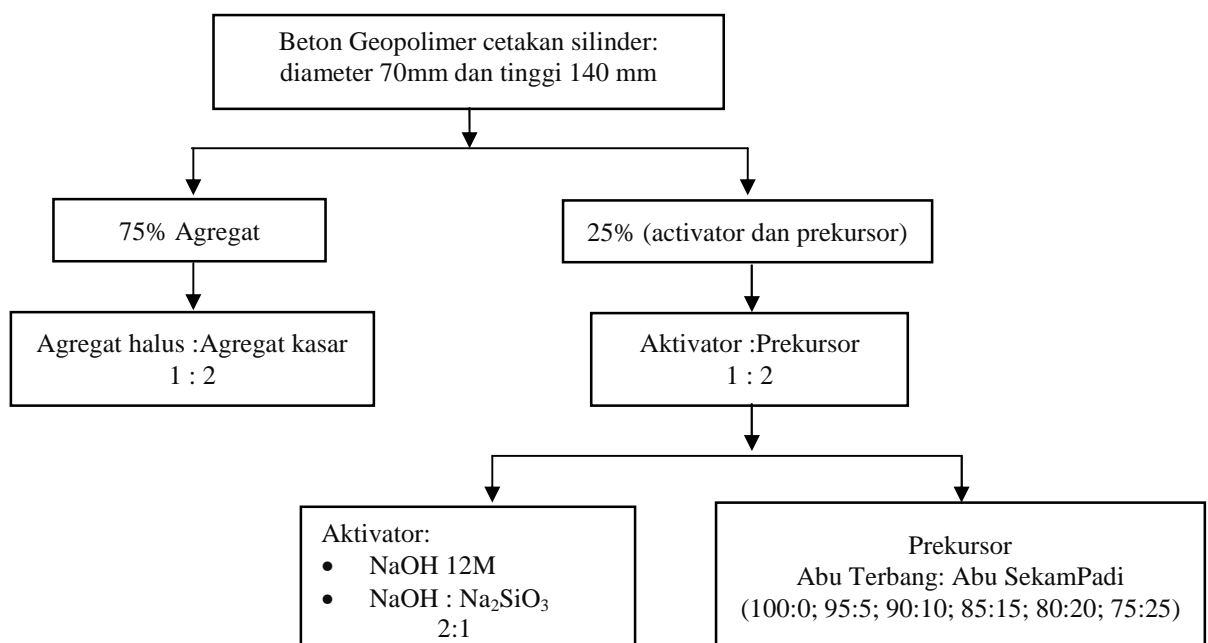
3. METODOLOGI

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah studi eksperimental, yakni dengan melakukan percobaan langsung di laboratorium. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh komposisi *solid material* abu terbang dan abu sekam padi pada beton geopolimer dengan *alkaline activator* Sodium Silikat (Na_2SiO_2) dan Sodium Hidroksida (NaOH) terhadap kuat tekan beton.

Pengujian benda uji akan dilakukan dengan dua tahap. Yang pertama adalah pengujian nilai *slump* untuk mengetahui tingkat kelecekan suatu adukan beton geopolimer, yang berpengaruh pada tingkat kesulitan dalam proses pengerjaannya (*workability*). Semakin besar nilai *slump* maka beton semakin encer dan semakin mudah untuk dikerjakan. Apabila semakin kecil nilai *slump*, maka beton akan semakin kental dan semakin sulit untuk dikerjakan. Yang kedua adalah pengujian kuat tekan beton geopolimer. Dengan ketentuan konsentrasi aktivator NaOH dan Na_2SiO_3 adalah 12M, perbandingan berat NaOH dan Na_2SiO_3 adalah 2:1, dan rasio *alkaline activator* terhadap Abu Terbang adalah 0.5, benda uji masing-masing akan dibuat per 3 sampel pada umur 7 hari, 14 hari dan 28 hari dengan perbandingan pemakaian *Solid Material* berupa Abu Terbang dan Abu Sekam Padi sebagai berikut: 100:0; 95:5; 90:10; 85:15; 80:20; 75:25.

Pada pembuatan benda uji digunakan material yang terdiri dari agregat halus, agregat kasar, *aquades*, abu terbang, abu sekam padi, NaOH dan Na_2SiO_3 . Adapun spesifikasi dari setiap bahan yang digunakan adalah sebagai berikut. Agregat halus berasal dari Kali Progo, Sleman, Yogyakarta, agregat kasar dari Kali Clereng, Kulon Progo, Yogyakarta. *Aquades* diperoleh dari Toko Alfa Kimia Yogyakarta, abu terbang dari PLTU Papisan. Abu Sekam Padi yang digunakan berasal dari sisa pembakaran batu bata yang diambil dari dusun Tumut, kecamatan Moyudan, Godean, Yogyakarta. NaOH yang digunakan adalah *Sodium Hydroxide Pellets for analysis EMSURE^R ISO*. Na_2SiO_3 yang digunakan adalah *Sodium Silicate Solution Extra Pure*.

Pembuatan benda uji dimulai dengan membuat *mix design* beton geopolimer. Karena belum ada ketentuan pasti tentang pembuatannya, *Mix design* beton geopolimer dibuat dengan metode pendekatan perbandingan berat. Komposisi perbandingan berat campuran beton geopolimer diilustrasikan seperti pada gambar 1.



Gambar 1. Komposisi Perbandingan Berat Campuran Beton Geopolimer

Secara keseluruhan, benda uji yang akan dibuat berjumlah 54 benda uji dengan macam variasi seperti pada tabel 1. Cara pembuatan beton geopolimer berbeda dengan cara pembuatan beton konvensional. Perbedaannya terletak pada

proses pembuatan pasta geopolimer yang digunakan sebagai pengganti pasta semen sebagai pengikat dalam campuran adukan beton.

Tabel 1. Variasi Benda Uji

Umur Pengujian	Abu Terbang : Abu Sekam Padi						Jumlah Benda Uji
	100:0	95:5	90:10	85:15	80:20	75:25	
7 hari	3	3	3	3	3	3	18
14 hari	3	3	3	3	3	3	18
28 hari	3	3	3	3	3	3	18

Tahap pembuatan benda uji geopolimer adalah sebagai berikut ini.

- Pembuatan Larutan Aktivator per 1 liter:
Molaritas NaOH yang digunakan sebesar 40 gram/mol. Untuk membuat larutan NaOH berkonsentrasi 12M, maka diperlukan NaOH sebanyak $12 \times 40 = 480$ gram yang kemudian dilarutkan dengan *aquades* hingga volumenya mencapai 1 liter.
- Kemudian larutan tersebut dicampur dengan Na_2SiO_3 dengan perbandingan 2:1 dan aduk hingga tercampur sempurna. Diamkan larutan aktivator tersebut selama 24 jam pada suhu ruang.
- Prekursor (abu terbang dan abu sekam padi) disiapkan sesuai dengan variasi perbandingan yang telah ditetapkan.
- Setelah 24 jam, larutan aktivator dan prekursor dicampur dengan perbandingan 1:2 untuk membentuk pasta geopolimer.
- Agregat kasar dan agregat halus disiapkan dengan perbandingan 2:1, lalu agregat tersebut diaduk sampai tercampur rata dan dicampur dengan pasta geopolimer.
- Kemudian dilakukan uji *slump* dari adukan beton geopolimer tersebut. Setelah itu, adukan beton geopolimer dimasukkan ke dalam cetakan silinder dan ditumbuk 25 kali setiap kelipatan 1/3 dari tinggi cetakan, lalu ratakan permukaannya.
- Cetakan + adukan beton geopolimer tersebut langsung dimasukkan ke dalam oven bersuhu 80°C selama 24 jam.
- Setelah itu, beton geopolimer dilepaskan dari cetakan untuk selanjutnya dimasukkan ke dalam plastik kedap udara (*clipped plastic bag*) selama umur pengujian yang sudah ditetapkan (7, 14, dan 28 hari).

Proses *curing* dilakukan dengan memasukkannya ke dalam oven bersuhu 80°C selama 24 jam. Hal ini bertujuan untuk menjaga suhu dari beton geopolimer, karena selama proses reaksi polimerisasi, beton geopolimer membutuhkan suhu yang panas. Dari reaksi kimia pembentukan senyawa, beton geopolimer juga menghasilkan air yang dikeluarkan selama proses *curing*. Oleh karena itu, setelah dikeluarkan dari oven dan cetakan, beton geopolimer langsung dimasukkan ke dalam plastik kedap udara (*clipped plastic bag*) agar lingkungan sekitar tidak mempengaruhi terjadinya proses kondensasi dari beton geopolimer.

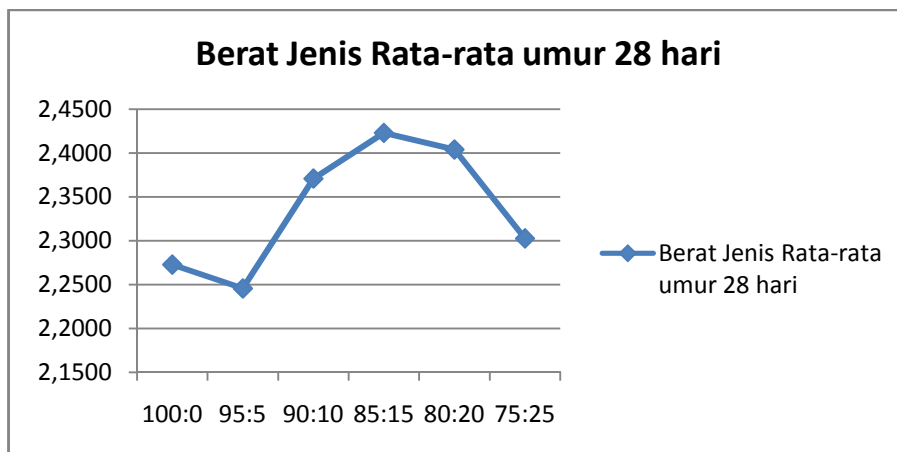
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian *slump* dilakukan untuk mengukur kemudahan adukan beton untuk dikerjakan (*workability*). Nilai *slump* secara tidak langsung mempengaruhi kekuatan beton karena berhubungan dengan sifat mudah dikerjakan dari adukan beton. Nilai *slump* yang terlalu besar menghasilkan beton yang kurang baik karena dapat menghasilkan beton yang berpori, sedangkan nilai *slump* yang terlalu kecil membuat beton sulit dikerjakan. Pengujian nilai *slump* dilakukan per varian pada umur 7, 14, dan 28 hari.

Tabel 2. Hasil Pengujian *Slump* Beton Umur 7, 14, dan 28 hari

Varian	Nilai Slump (cm)
Abu Terbang: Abu Sekam Padi	
100:0	0
95:5	0
90:10	2
85:15	0
80:20	8
75:25	0

Perbedaan besarnya nilai *slump* tersebut disebabkan oleh kondisi dari agregat kasar dan agregat halus yang digunakan. Apabila kondisinya *SSD*, maka nilai *slump* yang dihasilkan adalah 0 cm.



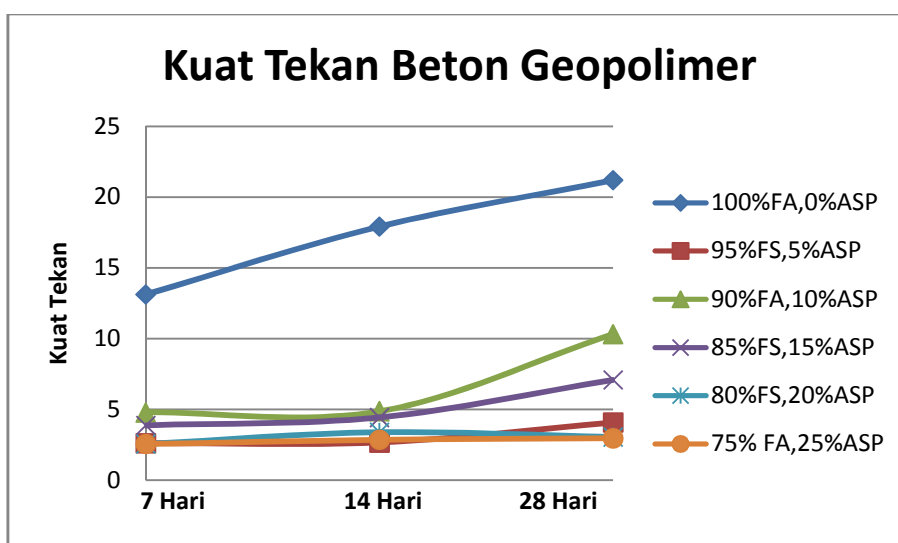
Gambar 2. Berat Jenis Beton Geopolimer

Besarnya nilai berat jenis beton yang diperoleh pada masing-masing sampel tidak menunjukkan *trend* yang semakin meningkat atau menurun. Hal tersebut disebabkan karena proses pengerjaan (pemadatan) dari masing-masing sampel itu sendiri. Proses pemadatan sangat berpengaruh terhadap kepadatan dan berat sampel beton yang dihasilkan. Perbedaan berat dari sampel yang tidak menentu inilah yang menyebabkan berat jenis yang dihasilkan tidak dapat menunjukkan *trend* yang jelas dan pasti.

Berdasarkan hasil gambar 2 di atas, berat jenis yang dihasilkan menunjukkan bahwa beton geopolimer termasuk dalam jenis beton normal. Besarnya nilai berat jenis diambil dari sampel beton umur 28 hari yang dirata-rata dan menghasilkan nilai berat jenis sebesar 2,3364gr/cm³.

Tabel 3. Kuat Tekan Beton Geopolimer

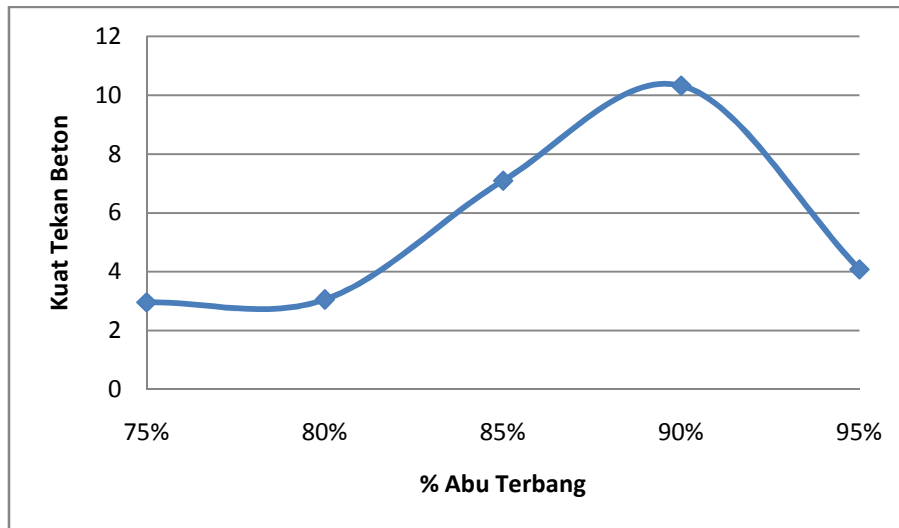
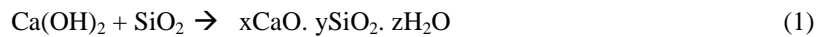
Prekursor		Kuat Tekan (MPa)		
Abu terbang	Abu Sekam Padi	7 hari	14 hari	28 hari
100%	0%	13.12972	17.91255	21.20305
95%	5%	2.618614	2.672209	4.078025
90%	10%	4.787708	4.860234	10.32331
85%	15%	3.878002	4.436519	7.09309
80%	20%	2.565244	3.39484	3.051927
75%	25%	2.572146	2.857127	2.960489



Gambar 3. Kuat Tekan Beton Geopolimer

Dari hasil pengujian tersebut, dapat diketahui bahwa beton geopolimer dengan campuran abu terbang 100% memiliki kuat tekan tertinggi. Akan tetapi, perlu juga diketahui bahwa kuat tekan yang dihasilkan tersebut belumlah

maksimal. Seharusnya kadar SiO₂ yang berasal dari abu terbang dan/atau abu sekam padi bereaksi dengan kapur mati Ca(OH)₂. Reaksi antara Ca(OH)₂ dan SiO₂ tersebut akan menghasilkan kalsium silikat hidrat (CSH) yang berfungsi sebagai perekat. Menurut secara umum reaksi tersebut dapat ditulis seperti persamaan di bawah.



Gambar 4. Kuat Tekan Beton Geopolimer Umur 28 Hari

Dari gambar 4, kuat tekan beton geopolimer umur 28 hari terlihat bahwa ternyata dengan mengurangi komposisi fly ash dengan disubstitusi abu sekam padi menunjukkan hasil yang semakin menurun dengan bertambahnya berat abu sekam padi dalam campuran tersebut. Tambahkan abu sekam padi menurunkan kuat tekan beton geopolimer. Hal ini masih perlu dikaji penyebab turunnya kuat tekan beton tersebut.

Hipotesa penulis dari hasil kuat tekan yang kurang optimal tersebut disebabkan oleh tidak adanya senyawa Ca(OH)₂ yang membantu pembentukan CSH sebagai perekat, mengingat persentase kandungan CaO yang terdapat pada abu terbang dan abu sekam padi berbeda jauh apabila dibandingkan dengan yang terdapat pada semen. Berdasarkan SNI 15-2049-1994, persentase kadar CaO pada komposisi semen *Portland* dibatasi antara 60-70 %. Maka dapat dikatakan bahwa persentase dari CaO yang terdapat dalam semen *Portland* berada di *range* 60% sampai 70%. Untuk perbandingan komposisi yang terdapat dalam semen, abu terbang, dan abu sekam padi dapat dilihat pada tabel 4 di bawah ini.

Tabel 4. Perbandingan Komposisi Semen, Abu Terbang dan Abu Sekam Padi

Parameter	Nama Senyawa	Semen*	Abu Terbang**	Abu Sekam Padi**
CaO	Kapur	60-67%	3,09%	0,70%
SiO ₂	Silika	17-25%	40,79%	52,61%
Fe ₂ O ₃	Oksida Besi	3-8%	2,05%	0,56%
MgO	Magnesia	0.1-4.0%	3,73%	1,43%
Na ₂ O	Alkali	1,34%	0,01%	8,72%

* Lianasari, 2010

** Pengujian Laboratorium Fisika Kimia Padatan dan B3

5. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilaksanakan dapat disimpulkan bahwa:

- Besarnya nilai berat jenis beton ditentukan oleh proses pembuatannya, dalam hal ini proses pemadatan.
- Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, nilai kuat tekan rata-rata pada umur 28 hari dengan perbandingan prekursor (abu terbang : abu sekam padi) 100:0, 95:5, 90:10, 85:15, 80:20, 75:25 berturut-turut adalah 21.20305 MPa, 4.078025 MPa, 10.32331 MPa, 7.09309 MPa, 3.051927 MPa, 2.960489 MPa.
- Kuat tekan beton maksimum terjadi pada beton geopolimer dengan komposisi abu terbang 100%.
- Beton geopolimer dengan komposisi abu terbang 100% dapat digunakan sebagai beton struktural apabila proses pengerjaannya dilakukan dengan benar.
- Penggantian sebagian proporsi abu terbang dengan abu sekam padi dalam prekursor dapat menurunkan kuat tekan beton geopolimer cukup signifikan.

6. SARAN

Dari hasil penelitian yang telah dilaksanakan dapat diberikan saran yang diharapkan dapat bermanfaat. Saran yang dapat diberikan sebagai berikut.

- a. Usahakan kondisi agregat yang digunakan benar-benar SSD.
- b. Untuk penelitian selanjutnya, dapat dicoba dengan menambahkan kapur(CaO) dalam komposisi prekursor agar reaksi antara Ca(OH)_2 dengan SiO_2 yang terdapat dalam abu terbang dan abu sekam padi dapat menghasilkan kalsium silikat hidrat (CSH) yang berfungsi sebagai perekat.
- c. Usahakan proses pemadatan dari setiap sampelnya dilakukan secara konsisten agar *trend* dari besarnya nilai berat jenis yang dihasilkan dapat lebih terlihat perbedaannya.
- d. Abu sekam padi harus dibakar terlebih dahulu sebelum digunakan sebagai prekursor beton geopolimer, agar kandungan silika yang dihasilkan dapat lebih optimum

7. DAFTAR PUSTAKA (DAN PENULISAN PUSTAKA)

- ACI 232.2R-03., 2003, *Use of Fly Ash in Concrete*, dilaporkan oleh ACI Committee 232, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI.
- Davidovits, J., 2008, *Geopolymer: Chemistry and Applications*, Perancis: Geopolymer Institute.
- Djwantoro Hardjito, 2002 <http://www.kompas.com/kompas-cetak/0210/21/ipitek/beto45.htm>
- Hardjito, D., Wallah S.E and Rangan, B.V, 2004, *Factor Influencing The Compressive Strength of Fly Ash Based Geopolymer Concrete*, Civil Engineering Dimension. 6. Issue: 2, hal. 88.
- Januarti Jaya Ekaputri dan Tri wulan, 2013, *Sodium sebagai Aktivator Fly Ash, Trass dan Lumpur Sidoarjo dalam Beton Geopolimer*, Jurnal Teknik Sipil, Vol. 20 No 1, 1-10
- Lianasari, Eva (2010). "Pengaruh Steam Curing Temperature pada Mortar Abu Sekam Padi sebagai Upaya Pemanfaatan Limbah Pertanian Menuju Terciptanya Green Construction", *Prosiding Innovation in Built Environment 2010, Peningkatan Jasa Konstruksi Menuju Green Design and Construction*, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta
- Metha, P. K., 2001, *Reducing The Environmental Impact of Concrete*, *ACI Concrete International*, 23(10); pp. 61-66.
- Septia, P., 2011, *Studi Literatur Pengaruh Konsentrasi NaOH dan Rasio NaOH:Na₂SiO₃, Rasio Air/Prekursor, Suhu Curing, dan Jenis Prekursor terhadap Kuat Tekan Beton Geopolimer*, Skripsi, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.