

Tinjauan Kuat Tekan Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash Dengan Aktivator Sodium Hidroksida Dan Sodium Silikat

Heri Kasyanto
Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Bandung
Jl. Gegerkalong Hilir, Ds. Ciwaruga, Bandung
INDONESIA
E-mail : herikasyanto@polban.ac.id

Abstrak

Produksi semen mempunyai kontribusi yang cukup besar terhadap pencemaran lingkungan, hal ini akibat dari emisi karbondioksida yang dihasilkan dari proses produksi semen. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian sebagai upaya untuk meminimalkan penggunaan semen. Pengembangan material alternatif yang dapat dijadikan sebagai pengganti semen sudah mulai banyak dilakukan oleh para penelitian, salah satunya penggunaan fly ash dan bahan aktivator sebagai pengganti semen. Tetapi tidak semua fly ash mempunyai komposisi kimia yang sama dan dengan variasi pencampuran yang berbeda juga mempunyai kekuatan yang berbeda pula, untuk itu dilakukan penelitian geopolimer berbahan dasar fly ash dengan aktivator sodium silikat (Na_2SiO_3) dan sodium hidroksida (NaOH). Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui proporsi yang optimum dari perbandingan sodium silikat (Na_2SiO_3) dan sodium hidroksida (NaOH) pada geopolimer berbahan dasar fly ash. Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini dibagi dalam 2 tahap mix design dengan jumlah benda uji sebanyak 108 buah. Hasil penelitian ini menunjukkan perbandingan yang optimum terjadi pada campuran $\text{Na}_2\text{SiO}_3 : \text{NaOH}$ adalah 3 : 1 dengan faktor air 0,2 dan konsentrasi NaOH 8M. Kekuatan tekan maksimum yang dihasilkan yaitu 39,147 Mpa.

Kata Kunci : semen, fly ash, sodium silikat, sodium hidroksida, geopolimer

1. PENDAHULUAN

Penggunaan semen portland yang semakin meningkat setiap tahunnya mengakibatkan peningkatan industri-industri semen portland di Indonesia. Perkembangan industri semen portland memberikan dampak lain terhadap lingkungan. Dalam produksi satu ton semen portland, akan dihasilkan sekitar satu ton gas karbon dioksida yang dilepaskan ke atmosfer. Dari data tahun 1995, jumlah produksi semen portland di dunia tercatat 1,6 miliar ton. Hal ini berarti industri semen portland melepaskan karbon dioksida sejumlah 1,6 miliar ton ke alam bebas (Hardjito,D, 2008). Menurut International Energy Authority: World Energy Outlook jumlah karbon dioksida yang dihasilkan tahun 1995 adalah 23,8 miliar ton. Angka itu menunjukkan produksi semen portland menyumbang tujuh persen dari keseluruhan karbon dioksida yang dihasilkan berbagai sumber. Tampaknya proporsi ini akan terus bertahan atau bahkan meningkat sesuai dengan peningkatan produksi semen kalau tidak ada perubahan berarti

dalam teknologi produksi semen atau didapatkan bahan pengganti semen (www.sinarharapan.co.id). Sumbangan industri semen portland terhadap total emisi karbon dioksida sangat besar, sehingga perlu dilakukan penelitian sebagai upaya untuk meminimalkan penggunaan semen portland. Penggantian sejumlah bagian semen dalam proses pembuatan beton, atau secara total menggantinya dengan bahan lain yang lebih ramah lingkungan, merupakan salah satu solusi yang bisa dilakukan untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Fly ash adalah salah satu bahan yang mempunyai potensi pengganti semen portland, tetapi perlu dikaji secara detail, terinci dan konsisten.

Pada dasarnya fly ash tidak memiliki kemampuan mengikat seperti halnya semen portland. Penambahan air dan aktivator (sodium silikat dan sodium hidroksida) akan mengakibatkan adanya reaksi kimia antara oksida silikat yang dikandung oleh fly ash dengan sodium silikat dan sodium hidroksida. Adapun geopolimer adalah sebuah

senyawa silikat alumino anorganik yang disintesis dari bahan-bahan produk simpangan seperti fly ash, abu kulit padi (ruce husk ash) dan lain-lain, yang banyak mengandung silikon dan *aluminium*. Sehingga *fly ash* yang disintesis menjadi sebuah senyawa *silikat alumino anorganik (geopolimer)* dengan penambahan *aktivator (sodium silikat dan sodium hidroksida)* akan memiliki kemampuan mengikat seperti halnya semen portland. Atas dasar pertimbangan tersebut, dilakukan penelitian tentang tinjauan kuat tekan *geopolymer* dengan bahan dasar *fly ash* dan *aktivator* berupa *sodium silikat* dan *sodium hidroksida*. Dari penelitian ini diharapkan dapat diperoleh suatu komposisi *fly ash* dan larutan *aktivator* yang bisa menghasilkan kekuatan yang optimum dan memiliki kinerja yang baik.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Geopolimer

Penelitian *geopolimer* berbahan dasar *fly ash* dan *aktivator* sudah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya, sehingga bukan merupakan ide original peneliti. Dari beberapa hasil penelitian tentang *geopolimer* berbahan dasar *fly ash* dan *aktivator* masih dapat dikembangkan lagi dari beberapa sudut, salah satunya variasi komponen campuran, perbedaan komponen kimia dari *fly ash*, pengaruh penggunaan bahan tambah dan lainnya. Selain hal-hal tersebut perbedaan karakteristik *fly ash* juga tidak sama karena merupakan bahan yang tidak *homogen* (asal *fly ash*, komposisi juga berbeda).

Leiondarto dan Sanjaya (2006), melakukan penelitian komposisi *alkaline aktivator* dan *fly ash* untuk beton mutu tinggi. Tujuannya adalah untuk memperoleh komposisi campuran dengan bahan tambahan yang benar sehingga dapat menghasilkan beton *geopolimer* dengan mutu tinggi untuk digunakan sebagai beton struktural. *Fly ash* yang digunakan adalah *fly ash* tipe C yang merupakan limbah dari PLTU Paiton, yang diperoleh dari PT Jaya Ready Mix. *Fly ash* Memiliki karakteristik kandungan *pozzolanik* yang tinggi dan komposisi kimia dari *fly ash* dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Komposisi kimia *fly ash* yang digunakan pada penelitian Leiondarto dan Sanjaya (2006).

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	LOI
48,80	14,05	3,40	24,15	5,60	-

Komposisi *mix design* dalam penelitian ini dibuat untuk tipe mortar *geopolimer* dan beton

geopolimer dengan penambahan bahan *superplasticiser (Sikament-NN dan plastiment-VZ)*. Kosnatha dan Utomo (2007) melakukan penelitian komposisi dan karakteristik beton *geopolimer* dari *fly ash* tipe C dan tipe F. Tujuannya adalah memperoleh komposisi campuran dengan bahan tambahan yang benar untuk dapat menghasilkan beton *geopolimer* dengan mutu tinggi dari *fly ash* tipe C dan tipe F sehingga dapat digunakan sebagai beton struktural, serta membandingkan dua jenis *fly ash* tersebut. *Fly ash* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *fly ash* tipe C berasal dari PLTU Paiton yang diperoleh dari PT Jaya Ready Mix dan *fly ash* tipe F berasal dari PLTU Suralaya yang diperoleh dari PT Indocement. Komposisi senyawa kimia dalam *fly ash* dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Komposisi senyawa kimia dalam *fly ash* yang digunakan pada penelitian Kosnatha dan Utomo (2007).

Oksida	Fly ash tipe C (%)	Fly ash tipe F (%)
SiO ₂	46,39	54,00
Al ₂ O ₃	20,08	29,12
Fe ₂ O ₃	13,32	09,81
CaO	13,07	01,33
SO ₃	02,16	00,65
MgO	01,09	00,81
Mn ₂ O ₃	00,15	00,04
Cr ₂ O ₃	00,01	-
Na ₂ O	00,17	< 00,01
K ₂ O	00,77	00,96
TiO ₂	01,64	01,35
P ₂ O ₅	01,03	00,16

Komposisi *mix design* dalam penelitian ini dibuat untuk tipe mortar *geopolimer* dan beton *geopolimer*.

Ekaputri, dkk (2007) melakukan penelitian sifat mekanik beton *geopolimer* berbahan dasar *fly ash*

Jawa Power Paiton sebagai material alternatif. Tujuannya adalah mengetahui perilaku fisik dan mekanik beton terhadap *molaritas* dan perbandingan kadar *aktivator* dan mendapatkan komposisi campuran yang memiliki kuat tekan yang paling tinggi. *Fly ash* yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Jawa Power Paiton, Probolinggo, Jawa Timur, Indonesia. Komposisi *mix design* dalam penelitian ini dibuat untuk tipe *geopolimer* dan beton *geopolimer*. Ukuran benda uji *geopolimer* adalah 20x40 mm², Komposisi campuran adalah 74% *fly ash* dan 26% pencampur (larutan NaOH 8M dan NaOH 10 M dengan perbandingan Na₂SiO₃ : NaOH masing-masing adalah 0,5; 1,0; 1,5, 2,0; dan 2,5). Adapun beton *geopolimer* adalah 100x200 mm². Dari penelitian Ekaputri, dkk (2007) kuat tekan *geopolimer* yang optimum pada umur 28 hari adalah yang menggunakan 10 M *Sodium Hidroksida* dengan campuran Na₂SiO₃ : NaOH adalah 1,5.

Berdasarkan beberapa penelitian yang sudah dilakukan tersebut penulis melakukan penelitian *geopolimer* dengan ukuran benda uji berbentuk kubus 15cm x 15cm x 15cm, *Fly ash* yang digunakan dalam penelitian ini *fly ash* dari PLTU Suralaya yang terletak di propinsi banten, yang diperoleh dari PT Pionir Beton yang terletak di Baros Cimahi. Komposisi campuran adalah larutan NaOH (8M dan 10 M), Variasi faktor air *fly ash* (0,4; 0,3 dan 0,2), variasi perbandingan Na₂SiO₃ : NaOH masing-masing adalah (1:1 ; 1:2 ; 1:3 ; 2:1 ; 3:1).

2.2 Alkali Aktivator

Sodium silikat dan *sodium hidroksida* digunakan sebagai *alkali aktivator* (Djuwanto, dkk, 2004), *sodium silikat* mempunyai fungsi untuk mempercepat reaksi *polimerisasi*. Adapun *sodium hidroksida* berfungsi untuk mereaksikan unsur-unsur Al dan Si yang tergantung dalam *fly ash* sehingga dapat menghasilkan ikatan *polimer* yang kuat.

Sodium silikat (NaOH) merupakan salah satu bahan tertua dan paling aman yang digunakan dalam industri kimia, hal ini dikarenakan proses produksi yang lebih sederhana maka sejak 1818 *sodium silikat* berkembang dengan cepat. *Sodium silikat* dapat dibuat dengan 2 proses yaitu proses basah dan proses kering. *Sodium silikat* terdapat dalam 2 bentuk, yaitu padatan dan larutan. Untuk campuran beton lebih banyak digunakan dalam bentuk larutan, *sodium silikat* atau yang lebih dikenal dengan *water glass*. *Sodium silikat* ini merupakan salah satu larutan *alkali* yang memainkan peranan penting dalam proses

polimerisasi karena *sodium silikat* mempunyai fungsi untuk mempercepat reaksi *polimerisasi*.

Sodium hidroksida (Na₂SiO₃) berfungsi untuk mereaksikan unsur-unsur Al dan Si yang terkandung dalam *fly ash* sehingga dapat menghasilkan ikatan *polimer* yang kuat.

3. METODOLOGI

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Semen, *Fly Ash*, *Sodium Hidroksida* dan *Sodium Silikat*. Semen yang digunakan adalah jenis PPC (*Portland Pozolan Cement*). *Fly Ash* berasal dari PLTU Suralaya yang terletak di propinsi banten. Adapun pengadaan bahan *fly ash* untuk penelitian diperoleh dari bantuan PT Pionir Beton yang terletak di Baros Cimahi. Dan bahan *alkali aktivator* (*Sodium Hidroksida* Dan *Sodium Silikat*) diperoleh dari toko bahan kimia.

Pelaksanaan penelitian ini untuk mengetahui karakteristik *fly ash* dan *aktivator* sebagai bahan perekat pengganti semen secara total, maka dalam penelitian ini menggunakan beberapa variasi campuran. Dari variasi campuran antara *fly ash* dan *alkali aktivator* diharapkan akan didapat nilai kuat tekan yang optimal. Pelaksanaan penelitian dibagi dalam beberapa tahapan sebagai berikut.

3.1 Pengujian material

Pengujian *Fly ash* meliputi pengujian sifat kimia dan sifat fisik. Pengujian sifat kimia dilakukan di Balai TEKMITRA, sedangkan pengujian fisik *fly ash* dilakukan di Lab.Uji Bahan Teknik Sipil POLBAN yang meliputi pengujian berat jenis *fly ash* dan sifat aktif *fly ash*. Pengujian Semen yang dilakukan yaitu pengujian berat jenis semen.

3.2 Mix design tahap I

Mix design tahap I dilakukan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi NaOH terhadap kuat tekan, pengujian dilakukan pada umur 7 Hari. Komposisi *mix design* berdasarkan konsentrasi NaOH seperti pada Tabel 3.

Tabel 3 Komposisi *mix design* berdasarkan konsentrasi NaOH

Mix Design	NaOH	Faktor air fly ash	Na ₂ SiO ₃ : NaOH	Jml Benda uji	Pengujian
1	8 M	0,5	1 : 1	3	7 hari
2			1 : 2	3	7 hari
3			1 : 3	3	7 hari
4			2 : 1	3	7 hari
5			3 : 1	3	7 hari
6		0,4	1 : 1	3	7 hari
7			1 : 2	3	7 hari

8	10 M	0,3	1 : 3	3	7 hari
9			2 : 1	3	7 hari
10			3 : 1	3	7 hari
11		1 : 1	3	7 hari	
12		1 : 2	3	7 hari	
13		1 : 3	3	7 hari	
14		2 : 1	3	7 hari	
15		3 : 1	3	7 hari	
16		0,5	1 : 1	3	7 hari
17			1 : 2	3	7 hari
18			1 : 3	3	7 hari
19		0,4	2 : 1	3	7 hari
20			3 : 1	3	7 hari
21			1 : 1	3	7 hari
22		0,3	1 : 2	3	7 hari
23			1 : 3	3	7 hari
24			2 : 1	3	7 hari
25		0,3	3 : 1	3	7 hari
26			1 : 1	3	7 hari
27			1 : 2	3	7 hari
28		0,3	1 : 3	3	7 hari
29			2 : 1	3	7 hari
30			3 : 1	3	7 hari

Hasil *mix design* tahap I akan diperoleh konsentrasi NaOH yang optimum pada konsentrasi 8 M dan 10 M. Selanjutnya dilakukan *mix design* tahap II berdasarkan umurnya.

3.3 Mix design tahap II

Pada *mix design* tahap II dilakukan berdasarkan komposisi perbandingan Na_2SiO_3 : NaOH dan faktor air *fly ash* yang optimum pada konsentrasi NaOH 8 M dan 10 M hasil *mix design* I. Dan *mix design* tahap II akan dibandingkan dengan *fly ash* tanpa *aktivator* dan menggunakan semen.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian komposisi kimia *fly ash*

Pengujian komposisi kimia untuk *fly ash* dilakukan di Laboratorium Pengujian tekMIRA Berdasarkan hasil uji analisis kimia yang dilakukan terhadap bahan *fly ash* yang digunakan, komposisi kimia yaitu seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil uji komposisi kimia *fly ash*

Senyawa Kimia	Persentase (%)
SiO_2	39.8
Al_2O_3	16.92
Fe_2O_3	14.99
CaO	15.34
MgO	3.78
Na_2O	0.71
SO_3	0.40
H_2O	0.13
LOI	1.51

Berdasarkan komposisi kimia hasil pengujian, *fly ash* Suralaya yang digunakan pada penelitian ini

termasuk kedalam *fly ash* kelas F (ASTM C 618-97).

4.2 Mix Design

Mix design pada penelitian ini dilakukan dua kali. *Mix design* tahap pertama dilakukan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi NaOH terhadap kekuatan tekan beton pada umur 7 hari. Konsentrasi NaOH yang digunakan yaitu 8 Molar dan 10 Molar. Komposisi bahan untuk *mix design* tahap pertama seperti pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5 Komposisi bahan untuk *mix design* tahap pertama

K O D E	Na ₂ SiO ₃ : NaOH		KOMPOSISI				
			Fly ash	NaOH		Na ₂ SiO ₃	Air
			gram	Molar	gram	gram	ml
Faktor larutan / <i>fly ash</i> 0.4							
1	1	1	1000	8	128	160	368
2	1	2			128	80	384
3	1	3			128	53,33	389,33
4	2	1			128	320	336
5	3	1			128	480	304
Faktor larutan / <i>fly ash</i> 0.3							
6	1	1	1000	8	96	120	276
7	1	2			96	60	288
8	1	3			96	40,00	292,00
9	2	1			96	240	252
10	3	1			96	360	228
Faktor larutan / <i>fly ash</i> 0.2							
11	1	1	1000	8	64	80	184
12	1	2			64	40	192
13	1	3			64	26,67	194,67
14	2	1			64	160	168
15	3	1			64	240	152
Faktor larutan / <i>fly ash</i> 0.4							
16	1	1	1000	10	160	200	360
17	1	2			160	100	380
18	1	3			160	66,67	386,67
19	2	1			160	400	320
20	3	1			160	600	280
Faktor larutan / <i>fly ash</i> 0.3							
21	1	1	1000	10	120	150	270
22	1	2			120	75	285
23	1	3			120	50,00	290,00
24	2	1			120	300	240
25	3	1			120	450	210

Faktor larutan / fly ash 0.2							
26	1	1	1000	10	80	100	180
27	1	2			80	50	190
28	1	3			80	33,33	193,33
29	2	1			80	200	160
30	3	1			80	300	140

Setelah dilakukan pengujian kuat tekan pada umur 7 hari diperoleh hasil yang optimum dan dilakukan *mix design* tahap ke dua. Pada *mix design* yang kedua komposisi bahan campuran seperti pada Tabel 6 dan pengujian pada umur 7 hari, 14 hari dan 28 hari.

Tabel 6 Komposisi bahan untuk *mix design* tahap kedua

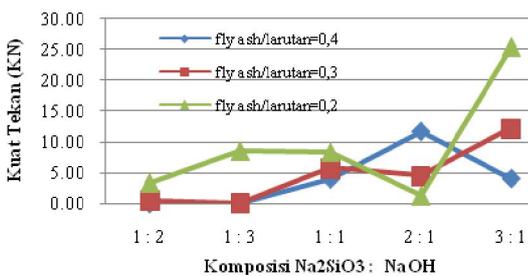
K O D E	Na ₂ SiO ₃ : NaOH		KOMPOSISI				
			Fly ash	NaOH		Na ₂ SiO ₃	Air
				Gram	Molar		
Faktor larutan / fly ash 0.2							
31	1	1	2200	8	140,8	176	404,8
32	2	1			140,8	352	369,6
33	3	1			140,8	528	334,4
Faktor larutan / fly ash 0.2							
34	1	1	2200	10	176	220	396
35	2	1			176	440	352
36	3	1			176	660	308

Sebagai pembanding dilakukan juga penelitian tanpa menggunakan *aktivator* dan menggunakan semen Portland.

4.3 Pengujian Kuat Tekan

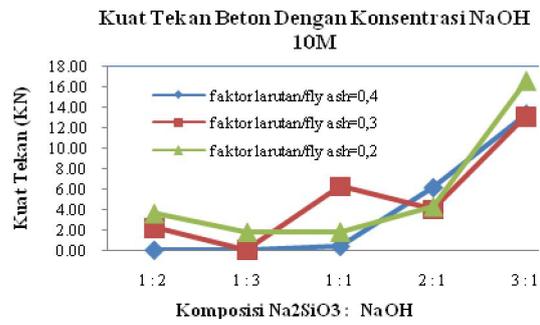
Hasil kuat tekan *geopolimer* untuk *mix design* tahap pertama pada konsentrasi NaOH 8 M seperti pada Gambar 1.

Kuat Tekan Beton Dengan Konsentrasi NaOH 8M



Gambar 1 Kuat Tekan *Geopolimer* dengan konsentrasi NaOH 8M untuk *mix design* I

Adapun hasil hasil kuat tekan *geopolimer* untuk *mix design* tahap pertama pada konsentrasi NaOH 10 M seperti pada Gambar 2.



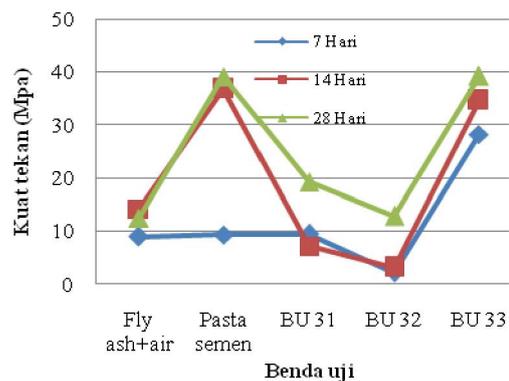
Gambar 2 Kuat Tekan *Geopolimer* dengan konsentrasi NaOH 10M untuk *mix design* I

Dari pengujian tahap pertama disimpulkan bahwa kuat tekan optimum pada komposisi campuran Na₂SiO₃ : NaOH = 3 : 1 baik pada konsentrasi NaOH 8M maupun 10M. Berdasarkan *mix design* pertama maka dilakukan pengujian *mix design* kedua untuk umur 7, 14 dan 28 hari pada komposisi campuran Na₂SiO₃ : NaOH = 1:1 ; 2:1 dan 3:1. Faktor air *fly ash* 0,2. Setelah melakukan pengujian nilai kuat tekan seperti pada Tabel 7.

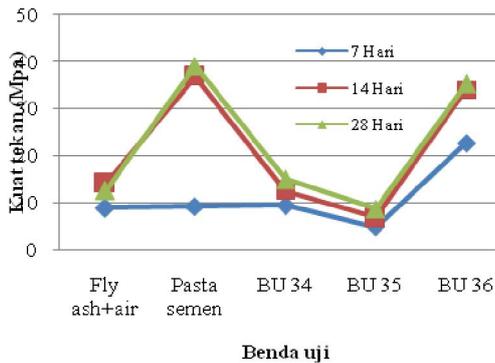
Tabel 7 Kuat tekan pada *mix design* tahap II

Benda Uji	Perbandingan		Kuat tekan (Mpa)		
	Na ₂ SiO ₃	NaOH	7 hr	14 hr	28 hr
Fly ash + air	-	-	8.881	14.106	12.481
Pasta semen	-	-	9.246	36.779	39.090
konsentrasi NaOH 8M					
BU 31	1	1	9.373	7.151	19.175
BU 32	2	1	2.171	3.146	12.824
BU 33	3	1	28.200	34.592	39.147
konsentrasi NaOH 10M					
BU 34	1	1	9.415	12.456	14.948
BU 35	2	1	4.814	6.769	8.701
BU 36	3	1	22.626	34.066	35.230

Pada Gambar 3 dan Gambar 4 berturut-turut hasil kuat tekan pada *mix design* kedua untuk konsentrasi NaOH 8M dan 10M.



Gambar 3 Kuat Tekan Geopolimer dengan konsentrasi NaOH 8M untuk mix design II



Gambar 4 Kuat Tekan Geopolimer dengan konsentrasi NaOH 10M untuk mix design II

Hasil pengujian kuat tekan menunjukkan bahwa kuat tekan optimum terjadi pada perbandingan $\text{Na}_2\text{SiO}_3 : \text{NaOH} = 3 : 1$ dengan faktor air 0,2. Adapun untuk konsentrasi NaOH antara 8M dengan 10M tidak mengalami perbedaan yang besar. Perbedaan tersebut ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 8 Kuat tekan optimum geopolimer berbahan dasar fly ash dan activator

Benda Uji	Perbandingan		Kons NaOH	Kuat tekan (Mpa)		
	Na_2SiO_3	NaOH		7 hr	14 hr	28 hr
33	3	1	8 M	28.200	34.592	39.147
36	3	1	10 M	22.626	34.066	35.230

Pada Tabel 8 meskipun perbedaan kuat tekan tidak besar tetapi didasarkan pada penggunaan NaOH maka kekuatan optimum pada konsentrasi NaOH 8 M dengan perbandingan $\text{Na}_2\text{SiO}_3 : \text{NaOH} = 3 : 1$ dan faktor air 0,2.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan uraian dan pembahasan yang sudah dipaparkan sebelumnya, dapat ditarik kesimpulan bahwa semakin besar NaOH dalam campuran akan menghasilkan kuat tekan lebih kecil, dan kuat tekan optimum pada penelitian ini terjadi pada komposisi campuran $\text{Na}_2\text{SiO}_3 : \text{NaOH} = 3 : 1$ dengan faktor air 0,2 dan konsentrasi NaOH 8M pada umur 7, 14 dan 28 hari.

5.2 Saran

Melihat kuat tekan yang besar pada geopolimer dengan bahan dasar fly ash dan aktivator maka untuk berikutnya dapat melakukan pengujian dengan menjadikan geopolimer tersebut sebagai

bahan grouting dan perbaikan pada struktur bangunan.

6. SUMBER PENDANAAN

Sumber pendanaan dari penelitian ini dibiayai oleh politeknik negeri bandung dengan surat perjanjian pelaksanaan penelitian pemula Nomor : 359.2/k8.r9/pl/2011

7. DAFTAR PUSTAKA

- Andoyo, 2006, "Pengaruh Penggunaan Abu Terbang (Fly Ash) terhadap Kuat Tekan dan Serapan Air pada Mortar", Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
- Ekaputri, J.J., Damayanti, O., dan Triwulan, 2007, "Sifat Mekanik Beton Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash Jawa Power Paiton Sebagai Material Alternatif", Jurnal Pondasi, Vol 13 No.2.
- Hardjito, D, 2008, "Abu Terbang Solusi Pencemaran Semen", Unika Widya Mandira Kupang, <http://www.sinarharapan.co.id/berita/0110/29/ipt03.html>.
- <http://www.sinarharapan.co.id/berita/0110/29/ipt03.html>
- Kosnatha, S., dan Utomo, J., P, 2007, Komposisi dan Karakteristik Beton Geopolimer Dari Fly Ash Tipe C dan Tipe F, Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Kristen Petra Surabaya.
- Leoindarto, C. Y dan Sanjaya A., 2006, "Komposisi Alkaline Aktivator Dan Fly Ash Untuk Beton Geopolimer Mutu Tinggi", Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Kristen Petra Surabaya.