

TINJAUAN KUAT TEKAN BETON *GEOPOLYMER* DENGAN *FLY ASH* SEBAGAI BAHAN PENGANTI SEMEN

Naskah Publikasi

Untuk memenuhi sebagian persyaratan
mencapai derajat S1 Teknik Sipil



diajukan oleh :

GINANJAR BAGUS PRASETYO

NIM : D 100 100 052

kepada:

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
2015**

LEMBAR PENGESAHAN

TINJAUAN KUAT TEKAN BETON *GEOPOLYMER* DENGAN *FLY ASH* SEBAGAI BAHAN PENGANTI SEMEN

Naskah Publikasi

Diajukan dan dipertahankan pada Ujian Pendadaran
Tugas Akhir di hadapan Dewan Penguji
Pada tanggal : 9 Juli 2015

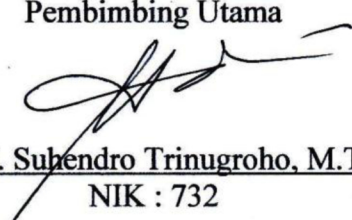
diajukan oleh :

GINANJAR BAGUS PRASETYO

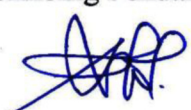
NIM : D 100 100 052

Susunan Dewan Penguji :

Pembimbing Utama


Ir. H. Subendro Trinugroho, M.T.
NIK : 732

Pembimbing Pendamping


Dr. Mochamad Solikin
NIK : 792

Anggota


Ir. H. Aliem Sudjatmiko, M.T.
NIP : 131683033

Tugas Akhir ini diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk mencapai derajat Sarjana S-1 Teknik Sipil
Surakarta, 9 Juli, 2015

Dekan Fakultas Teknik



Ir. Sri Sunarjono, M.T. Ph.D.
NIK : 682

Ketua Program Studi Teknik Sipil



Dr. Mochamad Solikin
NIK : 792

TINJAUAN KUAT TEKAN BETON *GEOPOLYMER* DENGAN *FLY ASH* SEBAGAI BAHAN PENGGANTI SEMEN

Ginanjar Bagus Prasetyo, Suhendro Trinugroho,
Dan Mochamad Solikin

¹⁾Jurusan Teknik Sipil FT Universitas Muhammadiyah Surakarta, Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan
Kartasura Surakarta
e-mail : gynanjar@live.com

ABSTRAK

Beton yang tersusun oleh agregat kasar, agregat halus, air, dan Semen Portland (SP) merupakan material yang sangat penting dan banyak digunakan untuk membangun berbagai infrastruktur. Pada saat proses memproduksi semen, terjadi pelepasan gas karbondioksida (CO_2) ke udara yang besarnya sebanding dengan jumlah semen yang diproduksi yang dapat merusak lingkungan atau biasa disebut efek rumah kaca. Guna mengatasi efek buruk tersebut maka perlu dicari material lain sebagai bahan pengganti semen. Beton *geopolymer* merupakan salah satu beton alternatif dibuat tanpa menggunakan semen sebagai bahan pengikat, dan sebagai gantinya digunakan abu terbang (*fly ash*) yang kaya akan silika dan alumina yang dapat bereaksi dengan cairan alkaline aktivator untuk menghasilkan bahan pengikat (*binder*). Alkaline Aktivator yang digunakan dalam penelitian ini adalah Na_2SiO_3 (sodium silikat) dan NaOH (sodium hidroksida) konsentrasi 10M. Pada penelitian ini dilakukan pengujian kuat tekan beton terhadap benda uji berbentuk kubus $15 \times 15 \times 15 \text{ cm}^3$ sebanyak 45 benda uji. Variasi aktivator 1:2, 2:2, 3:2, 4:2 dan 5:2, sedangkan variasi penggunaan agregat dan *binder* (*fly ash* dan aktivator) adalah 75% : 25%, 70% : 30% dan 65% : 35%. *Curing* yang dipakai dengan cara didiamkan dalam suhu ruangan. Pengujian dilakukan setelah beton berumur 28 hari. Berdasarkan hasil penelitian dapat diperoleh grafik hubungan antara kuat tekan beton *geopolymer* terhadap perbandingan aktivator. Untuk beton *geopolymer* 75 : 25, kuat tekan tertinggi dimiliki oleh beton dengan perbandingan $\text{Na}_2\text{SiO}_3:\text{NaOH} = 5:2$ sebesar $135,407 \text{ kg/cm}^2$. Untuk beton *geopolymer* 70 : 30, kuat tekan tertinggi dimiliki oleh beton dengan perbandingan $\text{Na}_2\text{SiO}_3:\text{NaOH} = 5:2$ sebesar $141,037 \text{ kg/cm}^2$. Dan untuk beton *geopolymer* 65 : 35, kuat tekan tertinggi dimiliki oleh beton dengan perbandingan $\text{Na}_2\text{SiO}_3:\text{NaOH} = 4:2$ sebesar $98,593 \text{ kg/cm}^2$. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi perbandingan aktivator $\text{Na}_2\text{SiO}_3:\text{NaOH}$ yang digunakan dalam campuran beton, maka terdapat kecenderungan semakin tingginya kuat tekan yang dihasilkan oleh masing – masing beton.

Kata kunci : *Alkaline Aktivator, Beton Geopolymer, Fly Ash, Kuat Tekan.*

PENDAHULUAN

Latar belakang

Beton sebagai material bangunan paling populer, tersusun dari komposisi utama

agregat kasar, agregat halus, air, dan Semen Portland menjadi material yang sangat penting dan banyak digunakan untuk membangun berbagai infrastruktur seperti

gedung, jembatan, jalan raya, dibawah tanah seperti pondasi. Dengan adanya pembangunan infrastruktur yang semakin hari semakin meningkat mengakibatkan produksi semen yang meningkat pula. Menurut (Malhotra, 1999) produksi semen dunia akan terus meningkat dari 1,5 milyar ton pada tahun 1995 menjadi 2,2 milyar ton pada tahun 2010. Akan tetapi, pada saat proses produksi semen terjadi pelepasan gas karbondioksida (CO_2) ke udara yang besarnya sebanding dengan jumlah semen yang diproduksi (Davidovits, 1994), yang dapat merusak lingkungan hidup kita diantaranya pemanasan global. Maka diperlukan bahan alternatif lain yang bisa menggantikan semen dalam campuran beton untuk mendapatkan beton yang ramah lingkungan. Diantaranya ialah melalui pengembangan beton dengan menggunakan bahan pengikat anorganik seperti alumina-silikat *polymer* atau dikenal dengan *geopolymer* yang merupakan sintesa dari material geologi yang terdapat pada alam yang kaya akan kandungan silika dan alumina (Davidovits, 1999).

Tujuan Penelitian

1. Mendapatkan nilai kuat tekan dari beton *geopolymer* yang menggunakan bahan dasar abu terbang (*fly ash*).
2. Mendapatkan pengaruh variasi sodium silikat (Na_2SiO_3) dan sodium hidroksida

(NaOH) terhadap kuat tekan beton *geopolymer*.

3. Mempelajari teknik pembuatan beton *geopolymer* yang menggunakan bahan dasar abu terbang (*fly ash*).

TINJAUAN PUSTAKA

Beton Geopolymer

Beton *geopolymer* adalah suatu jenis beton baru yang 100% tidak menggunakan semen sebagai bahan pengikat. Penggunaan material lainnya yang banyak mengandung silika dan alumina sepenuhnya sebagai pengganti semen lewat proses polimerisasi anorganik (*geopolymer*) yang dipelopori oleh seorang ilmuwan Prancis, Profesor Joseph Davidovits, pada tahun 1978.

LANDASAN TEORI

Materi Penyusun Beton Geopolymer

1. Abu Terbang (*Fly Ash*)

Fly Ash merupakan material hasil sampingan (*by-product*) industri salah satunya adalah sisa hasil proses pembakaran batubara pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) material ini banyak digunakan sebagai bahan tambahan untuk memperbaiki kinerja beton. Material abu terbang dikategorikan dalam material “*pozzolon*” yakni material *siliceous* atau *aluminous* yang didalamnya terdapat sedikit sekali atau tidak sama sekali material

cementious sebagaimana yang dimiliki Semen Portland. Material abu terbang dapat saja bereaksi secara kimia dengan cairan alkalin pada temperatur tertentu untuk membentuk material campuran yang memiliki sifat seperti semen (Manuahe dan Sumajouw, 2014).

2. Alkaline Aktivator (Sodium Silikat dan Sodium Hidroksida)

Alkaline aktivator merupakan zat atau unsur yang menyebabkan unsur atau zat lain bereaksi. Alkaline aktivator yang digunakan adalah sodium silikat dan sodium hidroksida. 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 *polymer* yang kuat. Dimana dalam penelitian ini sodium silikat yang digunakan berupa *gell* agak lengket sedangkan sodium hidroksida berupa serpihan dengan kadar 98%.

3. Agregat

Agregat adalah butiran mineral alam dimana fungsinya sebagai bahan pengisi dalam campuran beton atau mortar. Agregat dalam campuran beton menempati sebanyak kurang lebih 70 % dari volume beton atau mortar. Agregat pada beton terdiri dari agregat kasar (kerikil/batu pecah) dan agregat halus (pasir).

4. Air

Air adalah salah satu bahan utama beton yang sangat penting dan relatif paling mudah didapatkan. Air berfungsi sebagai bahan pengikat dan pelumas diantara butir-butir agregat agar mempermudah proses pencampuran atau adukan beton (*workability*).

Pengujian Beton

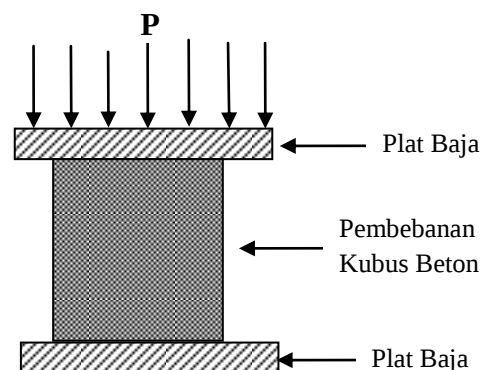
Kuat tekan beton

Untuk mengetahui besarnya kuat tekan beton yang telah mengeras yang disyaratkan, dilakukan pengujian kuat tekan beton.

Berdasarkan Metode Pengujian Kuat Tekan Beton (SNI 03-1974-1990), besarnya kuat tekan beton dapat dihitung dengan rumus:

$$\text{Kuat Tekan} = \frac{P_{maks}}{A} \dots\dots\dots (I.1)$$

dengan : P_{maks} = beban tekan maksimum (kg)
 A = luas permukaan benda uji yang ditekan (cm^2)

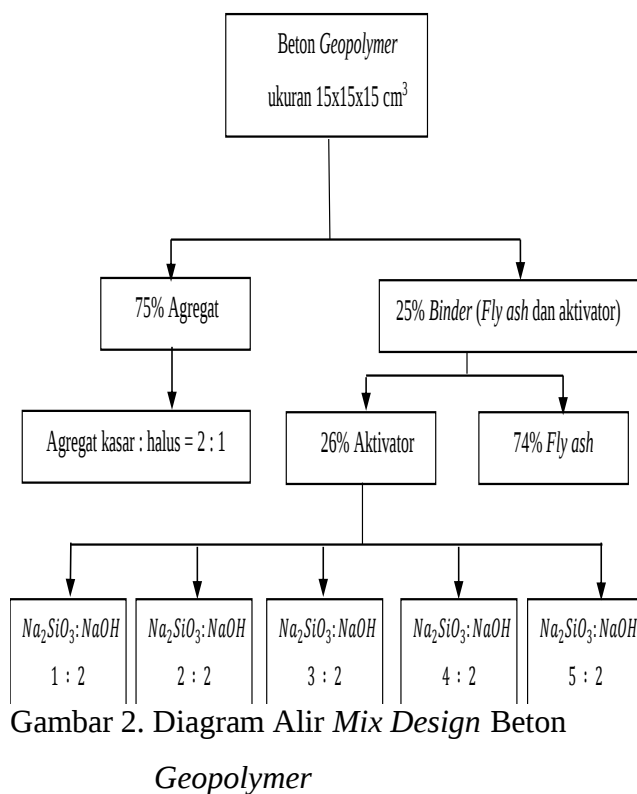


Gambar 1. Skema Pengujian Kuat Tekan Benda Uji Kubus

METODE PENELITIAN

Perencanaan Campuran Beton

Desain campuran (*mix design*) mengacu pada penelitian sebelumnya Ekaputri dan Triwulan (2007). Kebutuhan bahan didapat menurut perbandingan massa benda uji. Pada penelitian ini perbandingan agregat dengan *binder* pada campuran beton adalah 75% : 25% ; 70% : 30% dan 65% : 35%. Berikut gambar diagram alir *mix design* untuk beton *geopolymer* 75% : 25%.



Pengujian Agregat

Agregat Halus

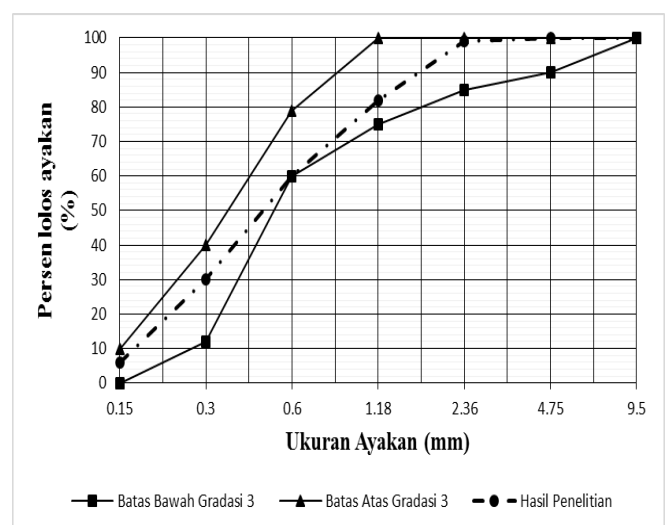
Hasil pemeriksaan agregat halus yang telah dilaksanakan pada penelitian dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pemeriksaan agregat halus.

Jenis pemeriksaan	Hasil	Persyaratan	Standar SNI	Keterangan
	pemeriksaan			
Kandungan organik	No.2 (Orange)	5-Jan	SNI 03-2816-1992	Memenuhi syarat
Pemeriksaan SSD (Saturated Surface Dry)	1,47	< 3,8	-	Memenuhi syarat
Berat jenis				
1). Berat jenis bulk	2,46	-	SNI 03-1970-1990	-
2). Berat jenis SSD	2,86	-	SNI 03-1970-1990	-
3). Berat jenis semu	2,74	-	SNI 03-1970-1990	-
Absortion %	4,17%	< 5%	SNI 03-1970-1990	Memenuhi syarat
Kandungan lumpur	1,04%	< 5%	-	Memenuhi syarat
Gradasi pasir	Daerah III	Daerah III	SNI 03-2384-1992	Memenuhi syarat
Modulus halus butir	3,23	1,5-3,8	-	Memenuhi syarat

(Sumber : hasil pengujian)

Dari tabel diatas dapat disimpulkan bahwa agregat halus yang digunakan dalam campuran beton sudah memenuhi syarat.



Gambar 3. Hubungan antara Ukuran Ayakan dengan Persen Butir Lolos.

Agregat Kasar

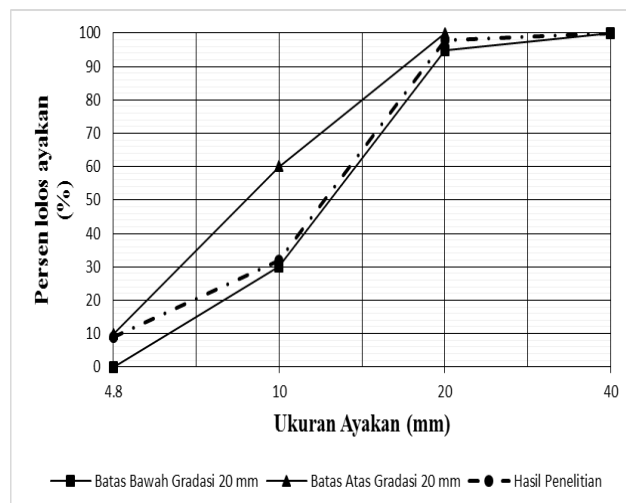
Hasil pemeriksaan agregat kasar yang telah dilaksanakan pada penelitian dapat dilihat Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pemeriksaan agregat kasar.

Jenis pemeriksaan	Hasil	Persyaratan	Standar SNI	Keterangan
	pemeriksaan			
Berat jenis				
1). Berat jenis bulk	2,33	-	SNI 03-1969-1990	-
2). Berat jenis SSD	2,39	-	SNI 03-1969-1990	-
3). Berat jenis semu	2,48	-	SNI 03-1969-1990	-
Absortion %	2,51	< 3%	SNI 03-1969-1990	Memenuhi syarat
Modulus halus butir	7,37	5-8	-	Memenuhi syarat

(Sumber : hasil pengujian)

Dari tabel diatas dapat disimpulkan bahwa agregat kasar yang digunakan dalam campuran beton sudah memenuhi syarat.



Gambar 4. Hubungan antara Ukuran Ayakan dengan Persen Butir Lolos.

Hasil Pengujian Fly Ash

Fly ash yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari PT. Jaya Ready Mix Sukoharjo yang merupakan sisa pembakaran batu bara pada PLTU Jepara. Pengujian terhadap fly

ash dilakukan untuk mengetahui kandungan kimia dari fly ash.. Hasil pengujian yang telah didapat dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Kandungan Kimia Fly Ash

No	Komposisi Kimia	Persentase (%)
1	SiO ₂	45,27
2	Al ₂ O ₃	20,07
3	Fe ₂ O ₃	10,59
4	TiO ₂	0,82
5	CaO	13,32
6	MgO	2,83
7	K ₂ O	1,59
8	Na ₂ O	0,98
9	P ₂ O ₅	0,41
10	SO ₃	1,00
11	MnO ₂	0,07

(Sumber: hasil pengujian fly ash PT. Jaya Ready Mix oleh Sucofindo)

Dari tabel diatas kadar (SiO₂+Fe₂O₃+Al₂O₃) sebesar 75,93%. Batas (SiO₂+Fe₂O₃+Al₂O₃) kelas C minimal 50 % dan kelas F (SiO₂+Fe₂O₃+Al₂O₃) minimal 70%. Maka dapat disimpulkan fly ash dari PLTU Jepara yang diambil di PT. Jaya Ready Mix Sukoharjo masuk pada kelas F (ACI Manual of Concrete Practice 1993 Part 1 226.3R-3).

Perencanaan Campuran Adukan Beton

Dalam penelitian ini *mix design* (perencanaan campuran) mengacu pada penelitian sebelumnya Ekaputri dan Triwulan (2007). Kebutuhan bahan didapat menurut perbandingan massa benda uji. Hasil

perencanaan campuran adukan dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Perencanaan campuran adukan beton *geopolymer* untuk setiap sampel.

Beton	Perbandingan Aktivator	Na ₂ SiO ₃	NaOH	Ag.Halus	Ag.Kasar	Fly Ash	Air
		(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(Lt)
75:25	1:2	0,175	0,351	2,030	4,050	1,499	0,375
	2:2	0,263	0,263	2,030	4,050	1,499	0,375
	3:2	0,316	0,211	2,030	4,050	1,499	0,375
	4:2	0,351	0,175	2,030	4,050	1,499	0,375
	5:2	0,376	0,150	2,030	4,050	1,499	0,375
70:30	1:2	0,211	0,421	1,890	3,780	1,798	0,449
	2:2	0,316	0,316	1,890	3,780	1,798	0,449
	3:2	0,379	0,253	1,890	3,780	1,798	0,449
	4:2	0,421	0,211	1,890	3,780	1,798	0,449
	5:2	0,451	0,181	1,890	3,780	1,798	0,449
65:35	1:2	0,246	0,491	1,750	3,510	2,098	0,524
	2:2	0,369	0,369	1,750	3,510	2,098	0,524
	3:2	0,442	0,295	1,750	3,510	2,098	0,524
	4:2	0,491	0,246	1,750	3,510	2,098	0,524
	5:2	0,527	0,210	1,750	3,510	2,098	0,524

(Sumber : hasil pengujian)

Dari data Tabel 4, perencanaan campuran adukan beton *geopolymer* untuk setiap sampel, air yang digunakan dalam pencampuran dilapangan mungkin berbeda dengan air dalam perencanaan awal campuran beton *geopolymer*. Ini bisa terjadi karena tingkat kesulitan dalam adukan beton *geopolymer* itu sendiri, dan karena pengaruh kondisi dilaboratorium. Maka dalam campuran adukan setiap sampel dilaboratorium, kebutuhan air bisa dikurangi 5% atau ditambahkan 5% dari perencanaan awal campuran beton *geopolymer*.

Kekentalan Adukan Beton

Pengujian *slump* bertujuan untuk mengetahui tingkat kekentalan adukan beton. Hasil pengujian *slump* dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil pengujian nilai *slump*.

Perbandingan Aktivator	Nilai <i>slump</i> (cm)		
	75:25 - F 444kg	70:30 - F 533kg	65:35 - F 622kg
1:2	4,9	13	24,6
2:2	4,7	12,8	25
3:2	5,5	12,5	24,5
4:2	5,3	12	24,4
5:2	5,9	11,5	25

(Sumber : hasil pengujian)

Keterangan :

F 444kg = kebutuhan *fly ash* dalam 1m³ campuran beton sebesar 444 kg.

F 533kg = kebutuhan *fly ash* dalam 1m³ campuran beton sebesar 533 kg.

F 622kg = kebutuhan *fly ash* dalam 1m³ campuran beton sebesar 622 kg.

Dari Tabel 5, menunjukkan bahwa kandungan *fly ash* semakin tinggi maka nilai *slump* juga semakin tinggi, hal ini disebabkan karena pengaruh kadar air yang digunakan dalam campuran ini didapat berdasarkan berat *fly ash* yang digunakan oleh masing-masing variasi. Jadi apabila berat *fly ash* semakin tinggi, maka kebutuhan air juga semakin tinggi dan mengakibatkan nilai *slump* juga semakin tinggi.

Hasil Pemeriksaan Berat Volume

Hasil perhitungan berat volume rata-rata pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel Tabel 6, Tabel 7 dan Tabel 8.

Tabel 6. Data hasil perhitungan berat volume beton *geopolymer* 75 : 25 - F 444kg.

Perbandingan aktivator	No	Volume	Berat	Berat Volume	Berat Volume Rata-rata
		(cm ³)	(gr)	(gr/cm ³)	(gr/cm ³)
1:2	A	3375	7595	2,250	2,166
	B		7335	2,173	
	C		7005	2,076	
2:2	A	3375	7620	2,258	2,169
	B		7310	2,166	
	C		7030	2,083	
3:2	A	3375	7129	2,112	2,116
	B		7230	2,142	
	C		7070	2,095	
4:2	A	3375	7434	2,203	2,163
	B		7332	2,172	
	C		7132	2,113	
5:2	A	3375	7254	2,149	2,209
	B		7764	2,300	
	C		7345	2,176	

(Sumber : hasil pengujian)

Tabel 7. Data hasil perhitungan berat volume beton *geopolymer* 70 : 30 - F 533kg.

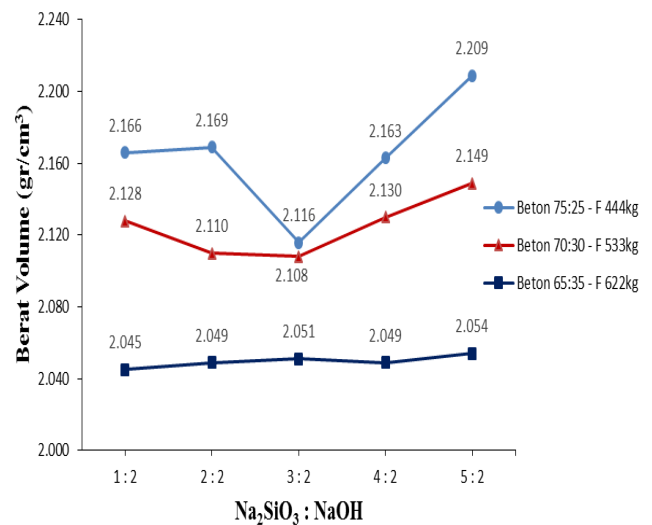
Perbandingan aktivator	No	Volume	Berat	Berat Volume	Berat Volume Rata-rata
		(cm ³)	(gr)	(gr/cm ³)	(gr/cm ³)
1:2	A	3375	7195	2,132	2,128
	B		7352	2,178	
	C		7003	2,075	
2:2	A	3375	7126	2,111	2,110
	B		7210	2,136	
	C		7030	2,083	
3:2	A	3375	7121	2,110	2,108
	B		7210	2,136	
	C		7010	2,077	
4:2	A	3375	7144	2,117	2,130
	B		7133	2,113	
	C		7290	2,160	
5:2	A	3375	7253	2,149	2,149
	B		7164	2,123	
	C		7345	2,176	

(Sumber : hasil pengujian)

Tabel 8. Data hasil perhitungan berat volume beton *geopolymer* 65 : 35 - F 622kg.

Perbandingan aktivator	No	Volume	Berat	Berat Volume	Berat Volume Rata-rata
		(cm ³)	(gr)	(gr/cm ³)	(gr/cm ³)
1:2	A	3375	6854	2,031	2,045
	B		6885	2,040	
	C		6965	2,064	
2:2	A	3375	6914	2,049	2,049
	B		6890	2,041	
	C		6940	2,056	
3:2	A	3375	6867	2,035	2,051
	B		6956	2,061	
	C		6944	2,057	
4:2	A	3375	6944	2,057	2,049
	B		6900	2,044	
	C		6899	2,044	
5:2	A	3375	6845	2,028	2,054
	B		7003	2,075	
	C		6944	2,057	

(Sumber : hasil pengujian)



Gambar 5. Hubungan antara Perbandingan Aktivator dan Berat Volume Beton *Geopolymer*.

Keterangan :

F 444kg = kebutuhan *fly ash* dalam 1m³ campuran beton sebesar 444 kg.

F 533kg = kebutuhan *fly ash* dalam 1m³ campuran beton sebesar 533 kg.

F 622kg = kebutuhan *fly ash* dalam 1m³ campuran beton sebesar 622 kg.

Melihat hasil perhitungan berat volume benda uji pada Tabel 6, Tabel 7 dan Tabel 8, dapat diambil kesimpulan, seiring dengan semakin tingginya rasio aktivator maka terdapat kecenderungan berat volume beton semakin tinggi, karena dilihat dari berat volume tertingginya pada rasio $\text{Na}_2\text{SiO}_3:\text{NaOH} = 5:2$.

Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Hasil pengujian kuat tekan beton diperoleh dengan cara mengukur beban maksimum yang dapat ditahan kemudian dibagi dengan luas penampang benda uji tersebut. Hasil uji kuat tekan beton dapat dilihat pada Tabel 9, Tabel 10 dan Tabel 11.

Tabel 9. Data hasil pengujian kuat tekan beton *geopolymer* 75 : 25 - F 444kg.

Perbandingan Aktivator	No	A (cm ²)	P _{max} (kubus) (kN)	P _{max} (kubus) (kg)	f _c (kg/cm ²)	Kuat Tekan Rata-rata (kg/cm ²)
1:2	A	225	66	6600	29,333	28,741
	B		63	6300	28,000	
	C		65	6500	28,889	
2:2	A	225	70	7000	31,111	30,222
	B		69	6900	30,667	
	C		65	6500	28,889	
3:2	A	225	189	18900	84,000	92,296
	B		210	21000	93,333	
	C		224	22400	99,556	
4:2	A	225	255	25500	113,333	117,481
	B		278	27800	123,556	
	C		260	26000	115,556	
5:2	A	225	306	30600	136,000	135,407
	B		298	29800	132,444	
	C		310	31000	137,778	

(Sumber : hasil pengujian)

Tabel V.10. Data hasil pengujian kuat tekan beton *geopolymer* 70 : 30 - F 533kg

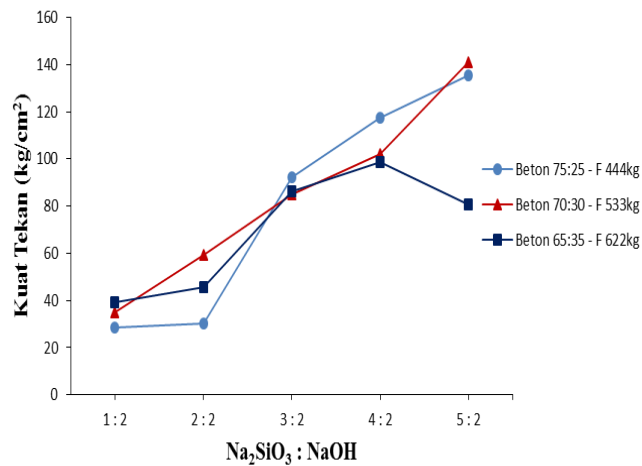
Perbandingan Aktivator	No	A (cm ²)	P _{max} (kubus) (kN)	P _{max} (kubus) (kg)	f _c (kg/cm ²)	Kuat Tekan Rata-rata (kg/cm ²)
1:2	A	225	70	7000	31,111	35,111
	B		85	8500	37,778	
	C		82	8200	36,444	
2:2	A	225	125	12500	55,556	59,259
	B		130	13000	57,778	
	C		145	14500	64,444	
3:2	A	225	198	19800	88,000	84,889
	B		185	18500	82,222	
	C		190	19000	84,444	
4:2	A	225	240	24000	106,667	102,222
	B		235	23500	104,444	
	C		215	21500	95,556	
5:2	A	225	322	32200	143,111	141,037
	B		314	31400	139,556	
	C		316	31600	140,444	

(Sumber : hasil pengujian)

Tabel V.11. Data hasil pengujian kuat tekan beton *geopolymer* 65 : 35 - F 622kg

Perbandingan Aktivator	No	A (cm ²)	P _{max} (kubus) (kN)	P _{max} (kubus) (kg)	f _c (kg/cm ²)	Kuat Tekan Rata-rata (kg/cm ²)
1:2	A	225	90	9000	40,000	39,407
	B		96	9600	42,667	
	C		80	8000	35,556	
2:2	A	225	106	10600	47,111	45,663
	B		98	9800	57,778	
	C		104	10400	46,222	
3:2	A	225	196	19600	87,111	86,222
	B		186	18600	82,667	
	C		200	20000	88,889	
4:2	A	225	226	22600	100,444	98,667
	B		215	21500	95,556	
	C		225	22500	100,000	
5:2	A	225	182	18200	80,889	80,593
	B		180	18000	80,000	
	C		182	18200	80,889	

(Sumber : hasil pengujian)



Gambar 6. Hubungan antara Perbandingan Aktivator dengan Kuat Tekan Beton *Geopolymer*.

Keterangan :

F 444kg = kebutuhan *fly ash* dalam 1m^3 campuran beton sebesar 444 kg.

F 533kg = kebutuhan *fly ash* dalam 1m^3 campuran beton sebesar 533 kg.

F 622kg = kebutuhan *fly ash* dalam 1m^3 campuran beton sebesar 622 kg.

Dari data yang diperoleh pada Tabel 9, Tabel 10 dan Tabel 11, dapat dilihat pengaruh rasio aktifator dan variasi beton agregat dengan *binder* terhadap kuat tekan beton *geopolymer*. Untuk beton *geopolymer* 75 : 25 - F 444kg, kuat tekan tertinggi dimiliki oleh beton dengan perbandingan $\text{Na}_2\text{SiO}_3:\text{NaOH} = 5:2$. Untuk beton *geopolymer* 70 : 30 - F 533kg, kuat tekan tertinggi dimiliki oleh beton dengan perbandingan $\text{Na}_2\text{SiO}_3:\text{NaOH} = 5:2$. Dan untuk beton *geopolymer* 65 : 35 - F 622kg, kuat tekan tertinggi dimiliki oleh beton dengan perbandingan $\text{Na}_2\text{SiO}_3:\text{NaOH} = 4:2$. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi perbandingan $\text{Na}_2\text{SiO}_3:\text{NaOH}$ yang digunakan

dalam campuran, maka terdapat kecenderungan semakin tingginya kuat tekan yang dihasilkan oleh masing – masing beton. Hasil penelitian ini sependapat dengan penelitian Ekaputri dan Januarti (2014), dimana pada penelitiannya tentang pengaruh molaritas terhadap kuat mekanik beton *geopolymer* kuat tekan tertinggi pada perbandingan $\text{Na}_2\text{SiO}_3:\text{NaOH} = 4:2$.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang diuraikan pada BAB V, maka diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Nilai kuat tekan tertinggi beton *geopolymer* adalah $141,037 \text{ kg/cm}^2$, pada perbandingan rasio aktifator $\text{Na}_2\text{SiO}_3 : \text{NaOH} = 5:2$ untuk beton *geopolymer* 70 : 30 - F 533kg.
2. Nilai *slump* tertinggi adalah 25 cm pada beton *geopolymer* 65 : 35 – F 622kg, dengan nilai *slump* yang tinggi membuat campuran beton sangat mudah diaduk tapi kuat tekan menurun. Nilai *slump* yang paling baik adalah 11,5 cm karena pada nilai *slump* ini kuat tekan beton paling tinggi dan masih *workability*.
3. Berdasarkan klasifikasi berat volume beton, hasil pemeriksaan berat volume beton berkisar antara $2,054 \text{ gr/cm}^3 - 2,209 \text{ gr/cm}^3$, maka termasuk beton normal.
4. Proses pembuatan beton *geopolymer* meliputi, mencampur agregat dengan

binder, *binder* ini terdiri dari *fly ash* dan larutan aktivator yang dicampur sampai homogen, dan terakhir ditambahkan air sesuai *mix design*. Aduk semua material yang sudah dimasukkan sampai mendapatkan kondisi *fresh concrete*.

Saran

Dari kesimpulan di atas maka dapat dibuat suatu saran-saran sebagai berikut:

1. Dalam pembuatan beton *geopolymer* ini *setting time* yang terjadi sangat cepat. Maka perlu dibutuhkan zat *additive* untuk menghambat terjadinya pengikatan awal.
2. Untuk penelitian berikutnya direkomendasikan untuk melakukan *curing* suhu ruangan dengan benda uji ditutup plastik agar mengurangi penguapan.
3. Proses adukan beton *geopolymer* dianjurkan pada suhu dibawah 20°C untuk memperlambat *setting time* pada pengikatan awal sehingga beton mudah diaduk atau meningkatkan *workability*.
4. Selama pelaksanaan pekerjaan pembuatan beton *geopolymer* ini, sebaiknya menggunakan perlengkapan pelindung seperti masker dan sarung tangan karena *fly ash* dan zat kimia yang digunakan sangat berbahaya bagi tubuh manusia.
5. Untuk teknik pencampuran berikutnya dianjurkan menggunakan mesin, karena pada penelitian ini teknik pencampuran hanya sebatas menggunakan manual.

6. Volume beton setelah benda uji dilepas dari cetakan dan setelah *curing* harap dihitung untuk mengetahui besarnya penyusutan karena berpengaruh terhadap besarnya berat volume beton.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI 232.2R-03. 2003. *Use of Fly Ash in Concrete*. Dilaporkan oleh ACI Committee 232. American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan.
- ACI 363 R-92. 1993. *State-of-the-Art Report of High Strength Concrete*. ACI Manual of Concrete Practice, Part 1, Materials and General properties of concrete.
- ASTM C618-03. 2003. *Standard Specification for 'Fly Ash and Raw or Calcinated Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete*. ASTM International, US.
- Davidovits, J., 1999. *Chemistry of Geopolymer System, Terminology*. Paper presented at the Geopolymer '99 International Conference, Saint-Quentin, France.
- Davidovits, J., 2005. *Green Chemistry and Sustainable Development Solutions*, Perancis: Geopolymer Institute.
- Davidovits, J., 2008. *Geopolymer: Chemistry and Applications*, Perancis: Geopolymer Institute.
- Ekaputri, J. J, Triwulan dan Damayanti O., 2007. *Sifat Mekanik Beton Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash Jawa Power Paiton sebagai Material Alternatif*, Jurnal PONDASI, vol 13 no 2 hal. 124-134.
- Fitriani, Dian R., 2010. *Pengaruh Modulus Alkali dan Kadar Aktivator Terhadap Kuat Tekan Fly Ash-Based*

Geopolymer, Skripsi Sarjana, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.

- Hardjito, D. and Rangan, B. V., 2005. *Development and properties of low-calcium Fly Ash-based geopolymer Concrete*, Research Report GC 1 Faculty of Engineering Curtin University of Technology Perth, Australia.
- Hardjito, D., Wallah S.E., and Rangan B.V., 2004. *Factor Influencing the Compressive Stength of Fly Ash Based Geopolymer Concrete*, Civil Engineering Dimension. 6. Issue: 2, hal. 88.
- Isabella, C., Grant, C., Van Deventer, S.J., 2005, *The Effect of Agregate Particle Size on Formation of Geopolimeric Gel*.
- Manuahe Riger, 2014. *Kuat tekan beton geopolymer berbahan dasar abu terbang (fly ash)*. Skripsi Program S1 Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Mehta P. K., 2004. *High-performance, high-volume fly Ash concrete for sustainable Development*. University of California. Berkeley USA.
- Mulyono, T., 2003. *Teknologi Beton*, Penerbit ANDI, Yogyakarta.
- Mulyono, T., 2004. *Teknologi Beton*, Penerbit ANDI, Yogyakarta.
- Nugraha, P., Antoni., 2007. *Teknologi Beton Dari Material, Pembuatan, ke Beton Kinerja Tinggi*, Penerbit ANDI, Yogyakarta.
- Palomo et. al., 1999. *Alkali-activated Fly Ash Cement for Future*, Cement and Concrete Research, 29(8) : 1323-1329.
- Provis, J.L, and Van Deventer, J.S.J, 2009. *Activating Solution Chemistry For Geopolymers, Geopolymers: Structures, Processing, Properties and Industrial Applications*, Woodhead Publishing, Abingdon UK, hal.50-71.
- Putra, Andre K, 2014. *Kuat Tarik Belah Beton Geopolymer Berbasis Abu Terbang (Fly Ash)*, Jurnal Sipil Statik, vol 2 no 7 hal. 330-336.
- SNI 03-1974-1990, 1990. *Metode Pengujian Kuat Tekan Beton*.
- Sumajouw, M.D.J., Dapas, S. O., 2013. *Elemen Struktur Beton Bertulang Geopolymer*, Penerbit ANDI, Yogyakarta.
- Sumajouw, M.D.J., and Rangan, B.V. 2006. *Low - Calcium Fly Ash – Based Geopolimer Concrete : Reinforced Beams And Columns*, Research Report GC3 Faculty of Engineering Curtin University Of Technology Perth, Australia.
- Sutanto, E., & Hartono, B., 2005. *Penelitian beton geopolymer dengan fly ash untuk beton struktural*. TA No : 15111415/SIP/2005. Jurusan Teknik Sipil Universitas Kristen Petra Surabaya.
- Tjokrodimuljo, K., 1992. *Teknologi Beton*, Biro Penerbit Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.
- Tjokrodimuljo, K., 1996. *Teknologi Beton*, Biro Penerbit Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.
- Wijaya, R., & Wijaya, T., 2007. *Karakteristik beton geopolymer segar*. TA No : 11011534/SIP/2007. Jurusan Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, Surabaya.