

PENGARUH PENAMBAHAN KAPUR PADAM TERHADAP KUAT TEKAN DAN MODULUS ELASTISITAS BETON *GEOPOLYMER*

Ade Lisantono¹ dan Yoseph Purnandani²

¹ Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Jl. Babarsari 44 Yogyakarta
Email: adelisantono@mail.uajy.ac.id

² Alumni S1 Program Studi Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Jl. Babarsari 44 Yogyakarta
Email: omah_bambu@yahoo.com

ABSTRAK

Dalam proses produksi semen menghasilkan karbon dioksida yang dapat menyebabkan pemanasan global. Ada beberapa alternatif untuk mengurangi pemanasan global, salah satunya adalah dengan mengembangkan adalah dengan mengembangkan beton *geopolymer*. Sebagai alternatif pengganti semen, beton jenis ini menggunakan bahan limbah residu pembakaran batu bara (*fly ash*) sebagai bindernya. Dalam riset ini akan dilakukan studi tentang pengaruh penambahan kapur padam terhadap sifat mekanik beton *geopolymer*. Dibuat benda uji silinder beton dengan diameter 150mm dan tinggi 300mm. Binder pengganti semen yang digunakan adalah *fly ash* kelas C dan kapur padam. Kadar *fly ash*:kapur dan *water/binder (w/b) ratio* yang digunakan adalah 25%:75% (*w/b*=0,58 dan 0,41), 40%:60% (*w/b*=0,53 dan 0,51), 50%:50% (*w/b*=0,48 dan 0,46), 60%:40% (*w/b*=0,40 dan 0,39), dan 75%:25% (*w/b*=0,37 dan 0,35). Perbandingan binder : agregat kasar : agregat halus yang digunakan adalah 1:1:1. Selain itu larutan alkali yang digunakan adalah larutan NaOH 14M dan larutan sodium hidroksida. Kedua larutan ini digunakan sebanyak 5% dari berat binder. Sifat karakteristik beton yang diuji adalah kuat tekan dan modulus elastisitas pada umur 7, 14, 28, dan 56 hari. Jumlah keseluruhan sampel adalah 172 buah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat tekan maksimum sampel pada umur 28 hari dengan kadar *fly ash*:kapur, yaitu 75%:25% dan *w/b ratio* 0,35 mencapai 20,63 Mpa dan pada umur 56 hari mencapai 21,38 Mpa. Dari hasil uji modulus elastisitas beton variasi ini mencapai 14676.533 Mpa pada umur 28 hari dan 18535.788 MPa pada umur 56 hari. Dengan demikian proporsi yang optimum yang diperoleh dalam penelitian adalah beton *geopolymer* dengan variasi 75%:25% dan *w/b ratio* 0,35.

Kata kunci: beton *geopolymer*, *fly ash*, kapur padam, kuat tekan, modulus elastisitas

1. PENDAHULUAN

Beton pada saat ini merupakan material yang banyak digunakan dalam pembuatan bangunan. Bahan penyusun beton pada umumnya terdiri dari bahan semen hidrolis, agregat kasar, agregat halus, dan air. Bahkan tidak jarang juga dicampur dengan bahan tambah untuk mendapatkan sifat beton yang diinginkan.

Dewasa ini, produksi semen mendapatkan perhatian dari kalangan pemerhati lingkungan. Hal ini berkaitan dengan CO₂ yang dihasilkan dari proses produksi semen yang dapat mengakibatkan pemanasan global atau sering disebut dengan efek rumah kaca. Oleh karena itu, berbagai penelitian telah dilakukan untuk mendapatkan bahan alternatif sebagai pengganti semen. Salah satunya adalah dengan mengembangkan beton *geopolymer* (Hardjito dan Rangan, 2005). Pada umumnya penggunaan *fly ash* sebatas merupakan bahan tambah mineral pada campuran beton. Sedangkan pada beton *geopolymer*, *fly ash* digunakan sebagai pengganti semen.

Kapur tohor merupakan material hasil bakaran dari batu kapur. Sedangkan kapur padam merupakan kapur hasil pematangan dari kapur tohor yang membentuk hidrat. Kapur bereaksi dengan bermacam-macam komponen pozzolan yang halus untuk membentuk kalsium silika semen. Silika adalah mineral utama dari *fly ash* jika beraksi dengan kapur maka akan membentuk gel [Ca(Si)₃]. *Fly ash* mempunyai sifat pozzolan sehingga bila dicampur dengan kapur dan air akan bereaksi membentuk kalsium silikat hidrat (C-S-H).

Dengan demikian pengembangan beton *geopolymer*, menjadi harapan utama mereduksi penggunaan semen untuk keperluan pembangunan infrastruktur. Saat ini belum banyak dilakukan studi tentang sifat fisik dan mekanik dari beton *geopolymer* yang diberi bahan tambah kapur padam, sehingga diperlukan penelitian untuk mempelajari sifat-sifat fisik dan mekanik dari beton *geopolymer* yang diberi bahan tambah kapur padam.

2. SIGNIFIKANSI DAN TUJUAN PENELITIAN

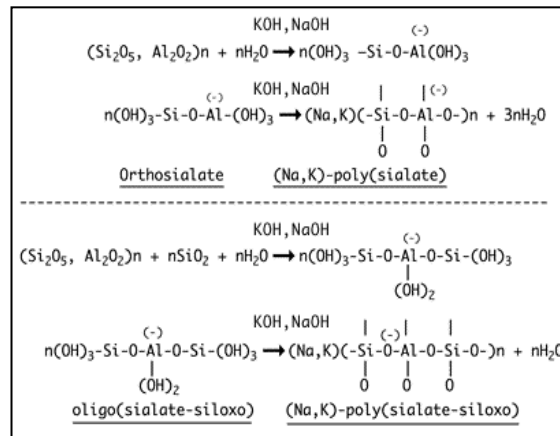
Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh penambahan kapur padam terhadap kuat tekan dan modulus elastisitas beton *geopolymer*. Kemudian dari hasil pengujian kuat tekan dan modulus elastisitas tersebut akan diperoleh komposisi *fly ash* dan kapur padam yang terbaik. Penelitian ini bermanfaat untuk pengembangan beton yang ramah terhadap lingkungan.

3. TINJAUAN PUSTAKA

Geopolymer

Geopolymer adalah sebuah senyawa silikat alumino anorganik yang disintesis dari bahan-bahan yang banyak mengandung silika dan aluminium seperti *fly ash*, abu kulit padi, abu tebu, dan lain-lain. Beton *geopolymer* menggunakan 100% bahan-bahan tersebut. Sehingga berbeda dengan beton konvensional yang menggunakan *fly ash*, abu kulit padi, dan abu tebu sebagai bahan pengisi (*filler*).

Beton *geopolymer* merupakan produk beton geosintetik dimana reaksi pengikatan yang terjadi adalah reaksi polimerisasi. Dalam reaksi ini unsur aluminium dan silikat merupakan unsur utama yang mempunyai peranan penting dalam membentuk ikatan polimer. Unsur aluminium dan silikat banyak terdapat pada *fly ash* dan kapur. Selain itu diperlukan juga larutan aktivator dalam pembentukan ikatan polimer. Larutan ini berfungsi sebagai katalisator dan memperkuat ikatan polimer. Skema formasi ikatan *geopolymer* tampak pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema Ikatan Polimer (sumber: www.geopolymer.org)

Fly Ash

Menurut ASTM C.618 *fly ash* didefinisikan sebagai butiran halus hasil residu pembakaran batu bara atau bubuk batu bara. *Fly ash* dapat dibedakan menjadi dua, yaitu *fly ash* yang normal yang dihasilkan dari pembakaran batubara antrasit atau batubara bitumeus dan *fly ash* kelas C yang dihasilkan dari batu bara jenis lignite atau subbitumeus.

Penelitian ini menggunakan *fly ash* kelas C dengan unsur kimia seperti diperlihatkan pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Unsur Kimia Fly Ash (%)

CaO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MgO	SiO	SO ₃	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O
13,33	10,04	9,63	5,08	21,19	1,85	0,50	0,31	0,14

Larutan Alkali

Larutan alkali yang paling umum digunakan dalam geopolimerisasi adalah suatu kombinasi sodium hidroksida (NaOH) atau kalium hidroksida (KOH) dan sodium silikat atau silikat kalium (Hardjito dan Rangan, 2005). Larutan ini berfungsi untuk mereaksikan unsur-unsur Al dan Si yang terdapat dalam *fly ash* dan mempercepat proses polimerisasi (Sutanto dan Hartono, 2005).

Kapur

Kapur tohor adalah hasil bakaran dari batu kapur. Kapur padam adalah kapur hasil pemadaman dari kapur tohor yang membentuk hidrat (SK SNI S-04-1989-F). Kapur bereaksi dengan bermacam-macam komponen pozzolan yang halus untuk membentuk kalsium silika semen. Silika adalah mineral utama dari *fly ash* jika beraksi dengan kapur maka akan membentuk gel $[Ca(Si)_3]$. *Fly ash* mempunyai sifat pozzolan sehingga bila dicampur dengan kapur dan air akan bereaksi membentuk kalsium silikat hidrat (C-S-H).

Agregat

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran beton (Tjokrodimulyo, 1992). Kandungan agregat dalam campuran beton biasanya sangat tinggi, berkisar 60%-70% dari berat campuran beton. Walaupun fungsinya hanya sebagai pengisi, tetapi karena komposisinya yang cukup besar, agregat ini pun menjadi penting (Mulyono, 2004).

Syarat-syarat yang harus dipenuhi oleh agregat kasar adalah sebagai berikut (SK SNI S-04-1989-F):

1. Butir keras dan tidak berpori,
2. Jumlah butir pipih dan panjang dapat dipakai jika kurang dari 20 % berat keseluruhan,
3. Bersifat kekal,
4. Tidak mengandung zat-zat alkali,
5. Kandungan lumpur kurang dari 1 %,
6. Ukuran butir beranekaragam.

Pasir alam sebagai agregat halus hasil disintegrasi alami dari batuan atau pasir yang mempunyai ukuran butir terbesar 5,0 mm.

Syarat-syarat yang harus dipenuhi oleh agregat halus adalah sebagai berikut (SK SNI S-04-1989-F):

1. Butir tajam dan keras dengan indeks kekerasan $\pm 2,2$
2. Butir halus dan bersifat kekal
3. Kandungan lumpur kurang dari 5 % dari berat kering
4. Tidak boleh mengandung bahan organik terlalu banyak
5. Memiliki modulus kehalusan antara 1,5 – 3,8.

Kuat Tekan

Kuat tekan suatu bahan adalah kemampuan bahan dalam menahan beban atau gaya tekan yang dikenakan per satuan luas. Nilai kuat tekan beton didapatkan melalui tata cara standar, menggunakan mesin uji dengan cara memberikan beban tekan bertingkat terhadap benda uji silinder beton sampai hancur. Kuat tekan masing-masing benda uji ditentukan oleh tegangan tekan tertinggi ($f'c$) pada saat regangan $\pm 0,002$ yang dicapai benda uji umur 28 hari (Dipohusodo, 1994). Secara umum untuk perhitungan kuat tekan menggunakan rumus:

$$f'c = \frac{P}{A} \quad (1)$$

dengan :

$f'c$ = kuat tekan (MPa)

P = besarnya gaya yang menekan (N)

A_o = luas penampang yang dikenai gaya (mm^2)

Kuat tekan setiap variasi diperoleh dari rata-rata kuat tekan silinder benda uji dalam variasi yang sama dengan rumus berikut:

$$f'c_{rata-rata} = \frac{\sum_{i=1}^n f'c}{n} \quad (2)$$

dengan:

$f'c_{rata-rata}$ = nilai kuat tekan rata-rata

$f'c$ = kuat tekan (MPa)

n = jumlah sampel

Modulus Elastisitas

Tolak ukur yang umum dari sifat elastis suatu bahan adalah modulus elastisitas, yang merupakan perbandingan dari tekanan yang diberikan dengan perubahan bentuk per-satuan panjang, sebagai akibat dari tekanan yang diberikan itu (Murdock, 1986).

Berdasarkan hukum *Hooke* nilai modulus elastisitas dapat dicari menggunakan rumus :

$$\sigma = E.\epsilon \tag{3}$$

dengan

σ = tegangan (MPa)

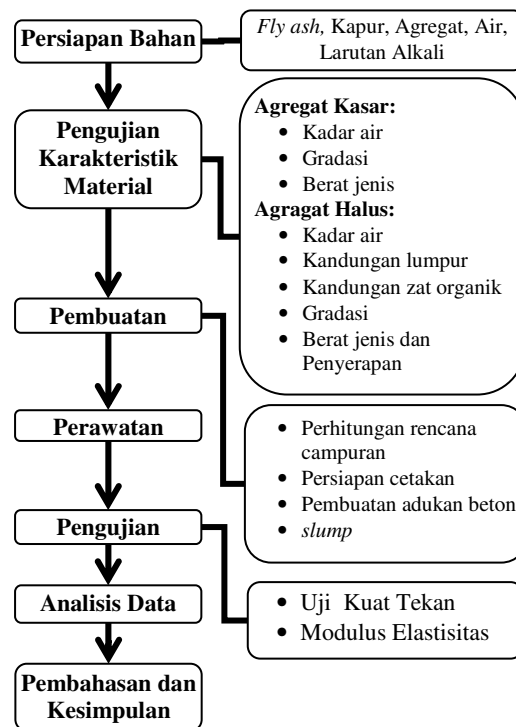
ϵ = regangan

E = modulus elastisitas beton tekan (MPa)

4. METODE PENELITIAN

Alur penelitian

Alur penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Alur Penelitian

Benda Uji

Dalam penelitian ini akan dibuat benda uji silinder dengan dimensi $\phi 150\text{mm}$ dan tinggi 300mm dari 10 variasi sampel yang berbeda. Perbedaan terdapat pada komposisi persentase *fly ash* dengan kapur dan variasi *water binder ratio (wbr)*. Sedangkan perbandingan binder:pasir:kerikil adalah 1:1:1 dan persentase larutan alkali sebesar 5% dari berat binder. Kemudian dilakukan pengujian kuat tekan dan modulus elastisitas beton *geopolymer*. Jumlah dan variasi benda uji selengkapnya terdapat pada Tabel 2 berikut:

Tabel 2 Jumlah dan Variasi Sampel

Kode	Fly ash:kapur	perbandingan air/binder	umur pengujian (hari)			
			7	14	28	56
A	25%:75%	0.58	5	5	5	5
B	40%:60%	0.53	3	3	5	5
C	50%:50%	0.48	3	3	5	5
D	60%:40%	0.40	3	3	5	5
E	75%:25%	0.37	5	5	5	5
F	25%:75%	0.41	3	3	5	5
G	40%:60%	0.51	3	3	5	5
H	50%:50%	0.46	3	3	5	5
I	60%:40%	0.39	3	3	5	5
J	75%:25%	0.35	5	5	5	5
total			36	36	50	50

Persiapan Bahan

Bahan yang digunakan yaitu:

1. Fly ash kelas C dari PLTU Cilacap
2. Kapur padam
3. Kerikil (Kali Clereng, Sleman, DIY) ukuran maksimum 20mm
4. Pasir (Merapi, Sleman, DIY)
5. Larutan NaOH 14M
6. Larutan Sodium hidroksida
7. Air

Pembuatan Benda Uji

Langkah-langkah yang dilakukan dalam proses pengadukan:

1. Mencampur larutan NaOH 14M dan larutan sodium hidroksida minimal satu hari sebelum pengadukan (Hardjito dan Rangan, 2005).
2. Menimbang bahan-bahan sesuai kebutuhan rencana.
3. Mencampur agregat halus dan binder kedalam molen agar tercampur rata. Kemudian masukkan agregat kasar. Aduk selama tiga menit. Tambahkan larutan alkali dan air kedalam molen dan aduk selama empat menit (Hardjito dan Rangan, 2005).
4. Lakukan pengujian slump.
5. Beton segar dicetak dalam cetakan silinder berdiameter 150mm dan tinggi 300mm.

Perawatan (Curing)

Perawatan beton bertujuan untuk menjaga agar kelembaban beton selalu terjaga, perawatan beton dimulai 24 jam setelah pengecoran. Metode perawatan beton dapat dilakukan dengan cara merendam beton di dalam air atau menyelimuti beton dengan karung basah. Perawatan beton dilakukan hingga satu hari sebelum pengujian

Pengujian Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas

Pengujian kuat tekan dan modulus elastisitas dilakukan pada umur 7, 14, 28, dan 56 hari. Pengujian kuat tekan menggunakan alat uji tekan beton *Universal Testing Machine UTM* merk *Shimadzu* dan *Compression Testing Machine* Merk *Ele*. Sedangkan pengujian modulus elastisitas menggunakan alat *Universal Testing Machine UTM* merk *Shimadzu*.

Setiap makalah harus dimulai dengan suatu abstrak dengan panjang antara 200-300 kata dan diikuti dengan kata kunci. Abstrak ditulis dalam satu bahasa yaitu bahasa Indonesia atau bahasa Inggris (sesuai isi makalah). Abstrak harus berupa suatu pernyataan ringkas dari permasalahan, pendekatan, hasil dan kesimpulan dari pekerjaan yang dilakukan. Isi abstrak, mencakup: latar belakang, tujuan, metode yang digunakan, hasil dan kesimpulan.

5. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pemeriksaan Bahan

Hasil pemeriksaan agregat halus dan agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4. Sedangkan hasil analisa saringan agregat halus dan agregat kasar terdapat pada Tabel 5 dan Tabel 6. Dari pemeriksaan diperoleh kadar lumpur agregat halus sebesar 6,5% (Tabel 3) atau melebihi batas toleransi sebesar 1%, sehingga perlu dibersihkan dahulu sebelum digunakan.

Tabel 3. Hasil Pemeriksaan Agregat Halus

Agregat Halus	
1. Kadar air	1,8422%
2. Kadar lumpur	6,5%
3. Kadar organik	No. 5
4. Berat jenis dan penyerapan	
a. <i>bulk specific gravity</i>	2,50251
b. <i>bulk specific gravity SSD</i>	2,51256
c. <i>apparent specific gravity</i>	2,5279
d. <i>absorption</i>	0,4016%

Tabel 4. Hasil Pemeriksaan Agregat Kasar

Agregat Kasar	
1. Kadar air	0,8757 %
2. Keausan dengan mesin <i>Los Angeles</i>	29,6260%
3. Berat jenis dan penyerapan	
a. <i>bulk specific gravity</i>	2,5231
b. <i>bulk specific gravity SSD</i>	2,5899
c. <i>apparent specific gravity</i>	2,7037
d. <i>absorption</i>	2,6477 %

Tabel 5. Analisa Saringan Agregat Halus

Lubang ayakan	Berat Tertahan (gr)	Presetase	
		Tertahan (%)	Lolos (%)
¾"	0	0	100
½"	0	0	100
3/8"	0	0	100
4	41	4.1	95,9
8	85	12,6	87,4
30	617	74,3	25,7
50	185	92,8	7,2
100	69	99,7	0,3
200	3	100	0
Pan	0	100	0
Jumlah	500	483,5	

Tabel 6. Analisa Saringan Agregat Kasar

Lubang ayakan	Berat Tertahan (gr)	Presetase	
		Tertahan (%)	Lolos (%)
¾"	0	0	100
½"	617	61.7	38.3
3/8"	271	88.8	11.2
4	112	100	0
8	0	100	0
30	0	100	0
50	0	100	0
100	0	100	0
200	0	100	0
Pan	0	100	0
Jumlah	1000	755,03	

Hasil Pengujian *Slump*

Dari pengujian *slump* didapatkan hasil yang disajikan dalam Tabel 7 sebagai berikut :

Tabel 7. Hasil Pengujian *Slump* Adukan Beton

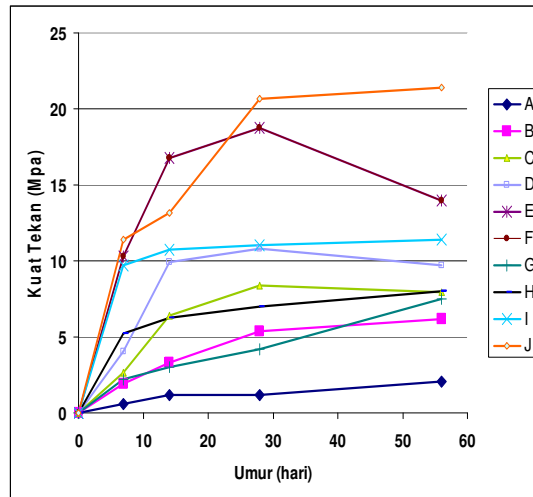
Kode	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
w/b	0.58	0.53	0.48	0.40	0.37	0.41	0.51	0.46	0.39	0.35
slump	21	17.7	15	14	14	20	11	14	13	11

Hasil Uji Kuat Tekan

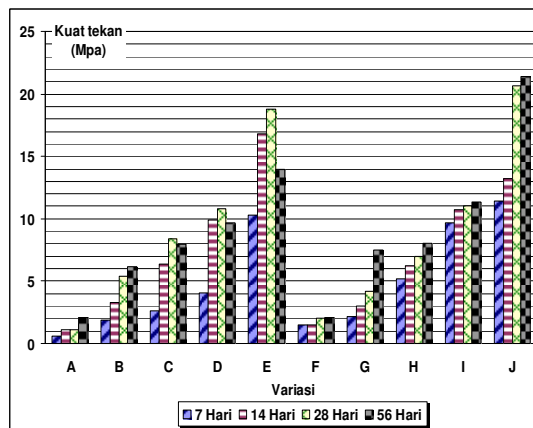
Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 7, 14, 28, dan 56 hari. Hasil pengujian selengkapnya terdapat pada Tabel 8. Hubungan kuat tekan dengan umur pengujian dapat dilihat pada Gambar 3. Sedangkan hubungan kuat tekan dengan komposisi binder (*fly ash*:kapur) terdapat pada Gambar 4.

Tabel 8. Hasil Pengujian Kuat Tekan

Kode:	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Umur Uji										
7	0.59	1.89	2.62	4.06	10.30	1.49	2.18	5.18	9.69	11.40
14	1.16	3.32	6.39	9.89	16.78	1.52	3.04	6.25	10.75	13.19
28	1.14	5.40	8.37	10.79	18.74	2.03	4.20	6.98	11.02	20.63
56	2.08	6.19	7.98	9.71	13.97	2.10	7.50	8.02	11.37	21.38



Gambar 3. Grafik Hubungan Kuat Tekan dengan Umur Pengujian



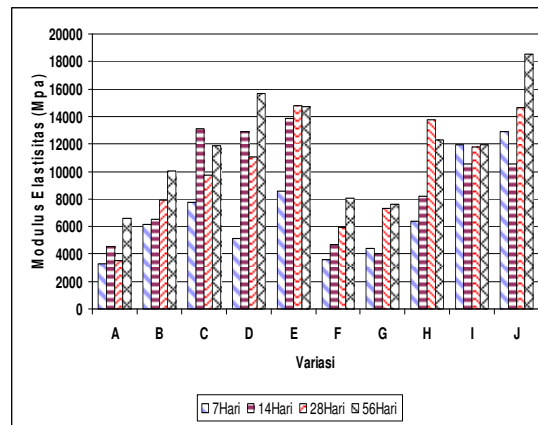
Gambar 4. Grafik Hubungan Kuat Tekan dengan Komposisi Binder

Hasil Uji Modulus Elastisitas

Hasil pengujian modulus elastisitas benda uji dapat dilihat pada Tabel 9 dan Gambar 5.

Tabel 9. Hasil Pengujian Modulus Elastisitas

Variasi	Modulus Elastisitas (Mpa)			
	7Hari	14Hari	28Hari	56Hari
A	3282.50727	4543.19277	3482.84148	6600.12792
B	6184.11444	6496.09402	7892.26614	10068.29033
C	7762.21754	13077.27960	9779.14615	11871.10686
D	5120.05220	12915.48687	11030.50770	15642.96145
E	8554.85579	13833.17573	14770.43102	14740.06667
F	3556.03698	4703.45506	5919.75681	8082.50764
G	4405.24796	4049.24813	7343.08507	7654.91050
H	6374.83916	8239.38989	13796.34932	12310.25095
I	11960.44208	10518.20889	11791.07068	11949.31757
J	12929.52742	10567.98971	14676.53299	18535.78830



Gambar 5. Grafik Modulus Elastisitas

6. KESIMPULAN

1. Nilai slump yang diperoleh bervariasi antara 11 hingga 21 cm. Kadar kapur padam yang tinggi menyebabkan penggunaan air yang banyak sehingga dapat terjadi nilai *slump* yang besar.
2. Berat jenis beton variasi A, B, C, D, F, G, H, dan I kurang dari 2200 kg/m^3 sehingga tidak memenuhi syarat berat jenis beton normal, yaitu $2200 - 2500 \text{ kg/m}^3$ (SK SNI 03-2847-2002). Sedangkan berat jenis variasi E dan J lebih dari 2200 kg/m^3 sehingga memenuhi syarat berat jenis beton normal.
3. Dari pengujian kuat tekan, nampak bahwa beton variasi dengan kadar kapur padam rendah mempunyai kuat tekan yang lebih tinggi dari pada variasi dengan kadar kapur padam yang lebih tinggi.
4. Variasi A, B, F, G, H, I, dan J mengalami peningkatan kuat tekan pada umur 7, 14, 28, dan 56 hari. Sedangkan variasi E, D, C mengalami penurunan kuat tekan pada umur 56 hari.
5. Dari pengujian kuat tekan, diperoleh kuat tekan beton variasi J (75% fly ash: 25% kapur) sebesar 20,63 Mpa pada umur 28 hari dan 21,38 Mpa. Pada umur 56 hari. Sehingga beton dapat digunakan sebagai beton struktur (SNI 03-2847-2002).
6. Dari hasil pengujian modulus elastisitas beton variasi J (75% fly ash: 25% kapur), diperoleh modulus elastisitas sebesar 14676,53299 Mpa pada umur 28 hari dan 18535,78830 Mpa pada umur 56 hari.
7. Kuat tekan dan modulus elastisitas beton *geopolymer* dipengaruhi oleh penambahan kapur padam. Dari hasil pengujian kuat tekan dan modulus elastisitas, diperoleh hasil bahwa beton *geopolymer* dengan komposisi binder (fly ash: kapur padam) 25% : 75% mempunyai kuat tekan dan nilai modulus elastisitas yang rendah dibandingkan beton dengan komposisi binder 75%:25%.

7. DAFTAR PUSTAKA

- About Geopolymerization, diakses tanggal 24 September 2007, <http://www.geopolymer.org>
- Antono, A. 1993, *Teknologi Beton*, Jurusan Teknik Sipil UAJY, Yogyakarta.
- Dipohusodo, I., 1994, *Struktur Beton Bertulang*, PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Hardjito, D., dan Rangan B.V., 2005, Development And Properties Of Low-Calcium Fly Ash-Based Geopolymer Concrete, *Research Report GCI Curtin University of Technology*, Perth
- Hardjito, D., 2004, Factors Influencing The Compressive Strength of Fly Ash-Based Geopolymer Concrete, *Dimensi Teknik sipil*, vol. 6, hal. 88-93
- Mulyono, T. 2004. *Teknologi Beton*, Penerbit Andi, Yogyakarta.
- Murdock, L.J and Brook, K.M, 1991, *Bahan dan Praktek Beton*, Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Purnandani, Y. 2007, *Pengaruh Penambahan Kapur Padam Terhadap Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton Geopolymer*, Tugas Akhir, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
- Sagel, R., 1993, *Pedoman Pengerjaan Beton (Berdasarkan SK SNI T-15-1991-03)*, Seri Beton 2, Erlangga, Jakarta,
- SK SNI-04-1989-F, 1989, *Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A (Bahan Bangunan Bukan Logam)*, Yayasan LMPB, Bandung
- SK SNI-03-2847-2002, 2002, *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*, Yayasan LMPB, Bandung
- Sutanto, E., dan Hartono, B., 2005, *Penelitian Beton Geopolimer dengan Fly Ash untuk Beton Struktural*, Universitas Kristen Petra, Surabaya.
- Tjokrodimulyo, K., 1992, *Teknologi Beton*, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UGM, Yogyakarta.
- YDNI, 1980, *Syarat-Syarat Untuk Kapur Bahan Bangunan (NI-7)*, Yayasan LMPB, Bandung.