

JURNAL REKAYASA TEKNIK SIPIL

REKATS



UNESA

Universitas Negeri Surabaya



JURNAL ILMIAH TEKNIK SIPIL	VOLUME: 01	NOMER: 01	HALAMAN: 16 - 23	SURABAYA 2018	ISSN: 2252-5009
-------------------------------	---------------	--------------	---------------------	------------------	--------------------

JURUSAN TEKNIK SIPIL-FAKULTAS TEKNIK-UNIVERSITAS NEGERI SURABAYA

TIM EJOURNAL

Ketua Penyunting:

Prof.Dr.Ir.Kusnan, S.E,M.M,M.T

Penyunting:

1. Prof.Dr.E.Titiek Winanti, M.S.
2. Prof.Dr.Ir.Kusnan, S.E,M.M,M.T
3. Dr.Nurmi Frida DBP, MPd
4. Dr.Suparji, M.Pd
5. Hendra Wahyu Cahyaka, ST., MT.
6. Dr.Naniek Esti Darsani, M.Pd
7. Dr.Erina,S.T,M.T.
8. Drs.Suparno,M.T
9. Drs.Bambang Sabariman,S.T,M.T
10. Dr.Dadang Supryatno, MT

Mitra bestari:

1. Prof.Dr.Husaini Usman,M.T (UNJ)
2. Prof.Dr.Ir.Indra Surya, M.Sc,Ph.D (ITS)
3. Dr. Achmad Dardiri (UM)
4. Prof. Dr. Mulyadi(UNM)
5. Dr. Abdul Muis Mapalotteng (UNM)
6. Dr. Akmad Jaedun (UNY)
7. Prof.Dr.Bambang Budi (UM)
8. Dr.Nurhasanyah (UP Padang)
9. Dr.Ir.Doedoeng, MT (ITS)
10. Ir.Achmad Wicaksono, M.Eng, PhD (Universitas Brawijaya)
11. Dr.Bambang Wijanarko, MSi (ITS)
12. Ari Wibowo, ST., MT., PhD. (Universitas Brawijaya)

Penyunting Pelaksana:

1. Gde Agus Yudha Prawira A, S.T., M.T.
2. Krisna Dwi Handayani,S.T,M.T
3. Arie Wardhono, ST., M.MT., MT. Ph.D
4. Agus Wiyono,S.Pd,M.T
5. Eko Heru Santoso, A.Md

Redaksi:

Jurusan Teknik Sipil (A4) FT UNESA Ketintang - Surabaya

Website: tekniksipilunesa.org

Email: REKATS

DAFTAR ISI

Halaman

TIM EJOURNAL.....	i
DAFTAR ISI.....	ii
• Vol. 01 Nomor 01/rekat/18 (2018)	
PENGARUH PERSENTASE COAKAN PADA DENAH BANGUNAN STRUKTUR <i>FLATSLAB</i> TERHADAP GAYA GESER DAN SIMPANGAN	
<i>Wahyu Putra Anggara, Bambang Sabariman,</i>	01 – 09
PENGARUH SUBSTITUSI <i>FLY ASH</i> DENGAN LIMBAH MARMER TERHADAP KUAT TEKAN DAN POROSITAS BETON GEOPOLIMER PADA NaOH 15M	
<i>Binti Nur Fitriahsari, Arie Wardhono,</i>	10 – 15
PENGARUH SUBSTITUSI LIMBAH MARMER PADA <i>FLY ASH</i> TERHADAP KUAT TEKAN DAN POROSITAS BETON GEOPOLIMER PADA MOLARITAS 10M	
<i>Imam Agus Arifin, Arie Wardhono,</i>	16 – 23



PENGARUH SUBSTITUSI LIMBAH MARMER PADA FLY ASH TERHADAP KUAT TEKAN DAN POROSITAS BETON GEOPOLIMER PADA MOLARITAS 10M

Imam Agus Arifin

Progam Studi S1 Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
arifinimama@gmail.com

Abstrak

Semen merupakan material yang hampir tidak bisa dihindari penggunaannya pada setiap pembangunan bidang infrastruktur. Gas rumah kaca yang dihasilkan dari proses pembuatan 1 ton semen kurang lebih juga sejumlah 1 ton. Masalah tersebut bisa dihindari dengan cara mengganti, atau mengurangi komposisi semen pada pembuatan beton. Beton geopolimer dibuat tanpa menggunakan semen, beton geopolimer dibuat menggunakan bahan dasar *fly ash*. *Fly ash* akan menjadi bahan pengikat setelah direaksikan dengan larutan alkali aktivator. Hasil dari beberapa penelitian menunjukkan bahwa kandungan CaO pada *fly ash* berpengaruh terhadap kuat tekan beton geopolimer. Limbah marmer merupakan material sisa produksi yang memiliki kandungan CaO tinggi, yaitu sebesar 98,63%. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh substitusi limbah marmer pada *fly ash*, dan kaitannya dengan kuat tekan dan porositas beton geopolimer. Pengujian dilakukan dengan benda uji silinder dengan diameter 10 cm dan tinggi 20 cm. Larutan alkali aktivator menggunakan molaritas 10M dan perbandingan SS/SH (Sodium Silikat : Sodium Hidroksida) 1 : 1,5. Variasi persentase substitusi yang digunakan sebesar 10%, 30% dan 50%. Hasil penelitian menunjukkan substitusi limbah marmer sebesar 10% memiliki kuat tekan paling tinggi pada umur 28 hari, yaitu sebesar 27,62 MPa dan porositas sebesar 5,45%.

Kata Kunci: beton geopolimer, limbah marmer, *fly ash*, kuat tekan, pororsitas, aktifator, binder, pemanasan global.

Abstract

Portland cement is one of building material almost inevitable in use for every infrastructure development. Greenhouse gases which is generated by production process of 1 ton cement is also approximately 1 ton. In case of decreasing this problem, it's necessary to look for alternative material for reduce of cement using. Geopolymer concrete is made without using of portland cement, it is made of fly ash base material. Fly ash become a binder after it has been reacted with an alkaline activator solvent. A lot of research about geopolymer concrete has been done, some of the result indicate that CaO content in fly ash give effect on compressive strength of geopolymer concrete. Marble waste is residual material of production that has high number of CaO content, which is equal to 98,63%. This research aim to determine the effect of marble waste substitution on fly ash and it's correlation to compressive strength and porosity of geopolymer concrete. The test is done by cylindrical test object with 10 cm diameter and 20 cm height. Alkaline activator solvent using 10M molarity and SS/SH ratio (Sodium Silica : Sodium Hydroxide) 1:1,5. Variation of percentage substitution used is 10%, 30%, and 50%. The result show 10% substitution of marble waste has highest compressive strength on 28 days old, that is 27,62 MPa for compressive strenght and 5,45% porosity.

Keywords: geopolymer concrete, fly ash, compressive strength, porosity, activator, binder, global warming

PENDAHULUAN

Perindustrian di Indonesia merupakan salah satu komponen perekonomian yang sangat penting. Perindustrian memungkinkan perekonomian kita berkembang pesat dan semakin baik, sehingga membawa perubahan pada struktur perekonomian nasional. Industri adalah kegiatan ekonomi yang mengolah bahan mentah, bahan baku, barang setengah jadi atau barang jadi menjadi barang yang bermutu tinggi dalam penggunaannya (Taufik Ali Rachim, 2014). Industri yang bahan bakunya berasal dari bahan mentah, kebanyakan akan menghasilkan material produksi sampingan (*by-produk material*) atau biasa disebut limbah produksi. Sebagian besar material hasil produksi sampingan ini dibuang begitu saja di daerah terbuka dan berdampak tidak baik terhadap lingkungan.

Industri yang paling dekat dengan dunia keteknik sipil adalah industri pembuatan semen, yang akhir-akhir ini banyak disoroti para pecinta lingkungan karena isu pemanasan global. Industri pembuatan semen merupakan salah satu penyumbang gas rumah kaca terbesar di bumi, disisi lain kebutuhan material semen pada pekerjaan konstruksi juga belum bisa tergantikan. Proses pembuatan 1 ton semen, gas rumah kaca yang dihasilkannya kurang lebih juga sejumlah 1 ton. Bisa kita bayangkan dengan melihat gedung-gedung yang megah berdiri dengan konstruksi beton bertulang, sudah seberapa banyak gas rumah kaca yang dihasilkan hanya dari produksi semen. Oleh karena itu pencarian material yang bisa menggantikan atau mengurangi komposisi semen pada beton banyak dilakukan. Salah satu inovasi beton non-semen adalah beton Geopolimer yang ditemukan oleh Prof. Davidovits.

Geopolimer adalah bentuk anorganik alumina-silika yang disintesa dari material yang banyak mengandung

Silika (Si) dan Alumina (Al) yang berasal dari alam atau material sampingan industri (Manuahe, Riger et al., 2014). Beton Geopolimer merupakan beton yang material utamanya mengandung banyak silika dan alumina tinggi yang direaksikan dengan alkali aktifator. Material yang paling sering dipakai sebagai bahan utama beton geopolimer adalah *fly ash*. *Fly ash* merupakan produksi sampingan (Limbah) dari industri yang memiliki kadar silika (Si) yang cukup tinggi. Silika (Si) dan Kalsium (CaO) merupakan salah satu bahan utama yang dibutuhkan untuk memproduksi semen portland.

Penelitian tentang geopolimer sudah banyak dilakukan, beberapa diantaranya adalah yang dilakukan oleh Pujianto, As'at dkk (2013) dan Septia G. Pugar (2011). Hasil dari penelitian tersebut menyatakan bahwa kandungan kalsium bisa meningkatkan kuat tekan pada beton geopolimer. Limbah marmer merupakan salah satu material yang memiliki kandungan CaO tinggi yaitu 98,63%, sehingga substitusi limbah marmer pada *fly ash* diasumsikan bisa meningkatkan nilai kuat tekan beton geopolimer. Limbah marmer yang dipakai pada penelitian ini didapat dari PT. Industri Marmer Indonesia Tulungagung (IMIT), yang berlokasi di desa Besole, kecamatan Besuki, kabupaten tulungagung. Limbah yang dihasilkan dari proses pengolahan batu marmer dibagi menjadi dua jenis, yaitu limbah padat dan limbah cair. Limbah padat masih bisa dimanfaatkan kembali oleh masyarakat sekitar menjadi kerajinan batu marmer atau barang lain yang memiliki nilai jual. Sedangkan untuk limbah cair, masih sedikit warga yang berminat memanfaatkannya. Beberapa warga biasa memanfaatkan endapan limbah cair ini sebagai bahan tambah untuk campuran semen. Meskipun hasil limbah produksi belum bisa dikatakan mengganggu lingkungan, dengan adanya penelitian ini diharapkan bisa memberikan informasi baru tentang pemanfaatan dari endapan limbah marmer yang berbentuk cair.

1. Beton Geoplimer

Terminologi geopolimer pertama kali digunakan oleh profesor Davidovits pada tahun 1978 (Davidovits, 1988) untuk menjelaskan tentang mineral *polymer* yang dihasilkan melalui *geochemistry*. Pada tahun 1979, Davidovits mulai memperkenalkan beton tanpa semen, yaitu beton yang menggunakan bahan pengikat yang dihasilkan dari reaksi polimer larutan alkali dengan *silica* dan alumunium yang terkandung dalam material seperti *fly ash*, *blast furnace slag*, *metakolin* atau abu sekam padi yang kemudian disebut sebagai beton geopolimer (Davidovits, 2002).

a. Sifat-sifat Beton Geopolimer

Menurut (Dian Zulkafli et al, 2014) beton geopolimer dalam bentuk segar (*fresh concrete*) maupun keras (*hardned concrete*) memiliki sifat sifat sebagai berikut;

1) Beton segar (*fresh concrete*)

- a) Memiliki waktu setting 10 jam pada suhu - 20°C, dan mencapai 7-60 menit pada suhu 20°C

- b) Penyusutan selama *setting time* kurang dari 0,05%,
 - c) Kehilangan massa dari beton basah menjadi beton kering kurang dari 0,1%.
- 2) Beton keras (*hardned concrete*)
- a) Memiliki kuat tekan lebih besar dari 90 MPa pada umur 28 hari,
 - b) Memiliki kuat tarik sebesar 10-15 MPa pada umur 28 hari,
 - c) Memiliki *water absorption* kurang dari 3%.

2. Fly Ash

Fly ash/abu terbang merupakan limbah hasil pembakaran batu bara pada tungku pembangkit tenaga uap yang berbentuk halus, bundar dan bersifat pozzolan (SNI 03-64414-2002). Peraturan pemerintah nomor 85 tahun 1999 menyatakan bahwa *fly ash* merupakan limbah dari pembakaran batu bara yang dikategorikan sebagai limbah B3 (bahan Berbahaya dan Beracun). Komposisi dari *fly ash* sebagian besar terdiri dari silikat dioksida (SiO₂), alumunium (Al₂O₃), besi (Fe₂O₃) dan kalsium (CaO), serta magnesium, potassium, sodium, titanium, sulfur, dalam jumlah yang kecil. Komposisinya tergantung dari tipe batu bara.

3. Limbah Marmer

Marmer (CaCl) merupakan batuan metamorfosa dari batuan gamping atau dolomit (CaCO₃). Pengaruh suhu dan tekanan yang dihasilkan oleh gaya endogen menyebabkan terjadinya rekristalisasi pada batuan tersebut membentuk berbagai foliasi maupun non foliasi (Istiqomah dan Kurnia Santi, 2013). Limbah marmer adalah limbah yang dihasilkan dari proses pengolahan batu marmer menjadi furniture atau kerajinan lain. Pada proses pengolahannya batu marmur di potong, dibelah, dan dihaluskan, pada proses ini lah dihasilkan limbah marmer dengan bentuk yang berbeda-beda (Serbuk, bongkahan, dan ada juga yang berbentuk cairan). Limbah marmer memiliki komposisi kimia seagai berikut:

Tabel 1. Kandungan limbah marmer

Komposisi Kimia	Kandungan (%)
CaO	98,63
Fe ₂ O ₃	0,44
CuO	0,04
MoO ₃	0,34
Yb ₂ O ₃	0,56

4. Alkaline Activator

Sodium silikat dan *sodium hidroksida* digunakan sebagai *alkaline activator*. *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 polimer yang kuat (Hardjito Djuwantor, dkk, 2004).

5. Pengujian Beton

a. Kuat Tekan

Kuat tekan beton adalah kemampuan untuk menahan gaya tekan per satuan luas. Kuat tekan beton mengidentifikasi mutu dari sebuah struktur. Semakin tinggi tingkat kekuatan struktur yang diinginkan maka semakin tinggi pula mutu beton yang harus dihasilkan. Besarnya kuat tekan beton dapat dihitung dengan persamaan berikut;

$$f'c = \frac{P}{A}$$

dimana,

$f'c$ = Kuat tekan beton (N/mm²)

P = Beban (N)

A = Luas permukaan benda uji (mm²)

b. Porositas

Porositas dapat didefinisikan sebagai perbandingan volume pori-pori (volume yang dapat ditempati oleh fluida) terhadap volume total beton (A.A. Gede Sutapa, 2011). Faktor air semen, besar kecilnya nilai slump, pemilihan tipe susunan gradasi, lamanya pemadatan merupakan beberapa sebab yang bisa mempengaruhi besar kecilnya angka pori pada beton. Berdasarkan ASTM C 642-90 dalam A.A. Gede Sutapa 2011, untuk mencari porositas beton dapat digunakan persamaan sebagai berikut;

n

dimana:

n : Porositas benda uji (%)

A : Berat kering oven benda uji (kg);

C : Berat beton jenuh air (kg)

D : Berat beton dalam air (kg).

METODE

Standart dan buku-buku acuan tentang beton geopolimer masih susah didapatkan, maka referensi yang digunakan akan lebih banyak didapat dari hasil penelitian sebelumnya dan jurnal. Tata cara pembuatan benda uji mengacu pada SNI 03-6813-2002. Hasil pengujian di laboratorium akan didapat data yang kemudian akan diolah untuk mendapatkan kesimpulan tentang penambahan limbah marmer terhadap kuat tekan dan juga porositas pada beton geopolimer. Pelaksanaan pengumpulan data sendiri dibagi menjadi beberapa tahap, antara lain:

1. Tahap Persiapan

Mempersiapkan material-material yang dibutuhkan untuk membuat benda uji, mulai dari *fly ash*, NaOH, *Water Glass*, aquades, kerikil, pasir, PC, dan limbah marmer yang diambil dari PT. IMIT di Tulungagung.

2. Tahap Pengujian Material

a. Agregat Halus, meliputi: Uji *specify Grafty*, *Absorbtion*, *Unit Weight*, *Soil Content*, *Fineness Modulus*, *Organic Impuriy*, *Soundness*, dan Gradasi.

b. Agregat Kasar, meliputi: Uji *specify Grafty*, *Absorbtion*, *Unit Weight*, *Soil Content*, *Fineness Modulus*, *Organic Impuriy*, *Soundness*, dan Gradasi.

c. Pengujian XRF untuk material *Fly Ash* dan limbah marmer.

3. Tahap Pembuatan Benda Uji

a. Larutan Aktivator

Bahan – bahan yang dibutuhkan untuk membuat larutan aktivator adalah Soda api, *water glass*, dan aquades. Pertama NaOH yang berbentuk kepingan dilarutkan kedalam aquades dengan kadar 10M yang dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$10M = \frac{\text{gram zat terlarut} / 40}{1}$$

$$10M = \frac{\text{gram zat terlarut}}{40} = 10 \times 40 = 400 \text{ gram.}$$

Jadi, untuk membuat larutan 10M, dibutuhkan 400 gram NaOH yang dilarutkan kedalam 1 liter aquades. Larutan NaOH tersebut kemudian didiamkan dengan keadaan tertutup (untuk mencegah larutan bereaksi dengan oksigen pada udara bebas), dan didiamkan sampai panas yang ditimbulkan dari proses reaksi hilang. Kemudian *water glass* dilarutkan kedalam larutan NaOH yang telah dibuat tadi dengan perbandingan 3 (*water glass*) : 2 (soda api).

b. Kebutuhan Material

Material yang dibutuhkan untuk membuat 4 variasi benda uji beton geopolimer adalah sebagai berikut:

Tabel 2. Kebutuhan bahan (kg)

Kode	Agregat Kasar	Agregat Halus	PC	Fly Ash	Limbah Marmer	Aktivator	
						S. Silikat	S. Hidroksida
OPC	20,55	13,70	7,28	-	-	-	-
Kontrol	23,73	12,78	-	7,85	0,00	1,88	1,26
Mix 1	23,73	12,78	-	7,07	0,79	1,88	1,26
Mix 2	23,73	12,78	-	5,50	2,36	1,88	1,26
Mix 3	23,73	12,78	-	3,93	3,93	1,88	1,26
Total	115,45	64,80	7,28	24,34	7,07	7,54	5,02

Kebutuhan material tersebut sudah ditambah dengan angka keamanan sebesar 25%.

c. Pengecoran beton

Tahapan pengecoran beton geopolimer adalah sebagai berikut:

- 1) Pengecoran beton dimulai dengan mencampurkan kerikil dan pasir kedalam *mixer* selama ± 1 menit.
- 2) Kemudian ditambahkan *fly ash* dan limbah marmer dan diaduk lagi selama ± 2 menit (sampai dirasa homogen).
- 3) Setelah semua material tercampur kemudian ditambahkan dengan aktivator, dan diaduk selama ± 2 menit.
- 4) Beton dicetak pada cetakan berbentuk silinder dengan diameter 10 cm dan tinggi 25 cm.

4. Pengujian Beton

a. Uji Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada saat beton berumur 7 dan 28 hari dengan menggunakan *Hidraulic Universal Testing Machine WE – 600B*, 360 V, produksi China.

b. Uji Porositas

Berikut adalah tahapan pengujian porositas beton;

- 1) Pengujian porositas diawali dengan proses perendaman beton selama ± 24 jam. Perendaman dilakukan 1 hari sebelum umur pengujian.
- 2) Selanjutnya beton ditimbang didalam air.
- 3) Beton didiamkan sebentar sampai pada keadaan kering permukaan (SSD), dan kemudian ditimbang.
- 4) Beton dikeringkan didalam oven selama ± 24 jam kemudian ditimbang.
- 5) Setelah didapatkan berat beton dalam air (D), berat beton jenuh air (C), dan berat kering beton (A), kemudian porositas beton dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut;

$$n = \frac{C-A}{C-D} \times 100\%$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Pengujian Material

a. Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan pada penelitian ini adalah pasir lumajang. Hasil dari beberapa pengujian pasir, dapat dipastikan bahwa pasir tersebut telah memenuhi syarat SNI sebagai agregat halus. Berikut adalah tabel hasil uji karakteristik pasir:

Tabel 3. Hasil uji agregat halus

No.	Uraian	Pasir Lumajang	Standart SNI
1	Berat Jenis	2,635 gr/cm ³	Min. 2,5 gr/cm ³
2	Penyerapan Air	4,17%	< 5%
3	Analisa Ayakan	Zona 2	-
4	Berat Volume	1,76 gr/cm ³	1,5 – 2,0 gr/cm ³
6	Kadar Lumpur	4,17%	< 5%

b. Fly Ash

Pengujian *fly ash* dilakukan di Laboratorium Sentral Mineral dan Material Maju, Universitas Negeri Malang. Hasil pengujian kandungan kimia dapat dilihat pada gambar berikut:

Compound	Al	Si	K	Ca	Ti	V
Conc	4.9 +/- 0.2	13.4 +/- 0.2	1.4 +/- 0.01	18.3 +/- 0.08	1.21 +/- 0.007	0.05 +/- 0.009
Unit	%	%	%	%	%	%

Compound	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn
Conc	0.11 +/- 0.002	0.56 +/- 0.02	54.62 +/- 0.15	0.16 +/- 0.008	0.098 +/- 0.003	0.06 +/- 0.003
Unit	%	%	%	%	%	%

Compound	Sr	Rb	Mo	Ba	Eu	Re
Conc	1.00 +/- 0.04	0.28 +/- 0.008	2.5 +/- 0.02	0.47 +/- 0.06	0.47 +/- 0.12	0.1 +/- 0.03
Unit	%	%	%	%	%	%

Compound	Hg
Conc	0.46 +/- 0.02
Unit	%

Gambar 1. Hasil uji XRF *fly ash*

Hasil pengujian menunjukkan kandungan kimia terbesar adalah Fe (besi) sebesar $54,62 \pm 0,15\%$ dan Ca (kalsium) sebesar $18,3 \pm 0,08\%$. Kandungan Ca pada *fly ash* tersebut lebih dari 10%, ini menunjukkan *fly ash* tersebut masuk dalam kategori *fly ash* tipe C.

c. Limbah Marmer

Pengujian limbah marmer dilakukan di Laboratorium Sentral Mineral dan Material Maju, Universitas Negeri Malang. Limbah marmer yang digunakan didapat dari PT. INDUSTRI MARMER INDONESIA TULUNGAGUNG (IMIT), limbah marmer yang digunakan adalah limbah marmer sisa dari proses pemotongan marmer (berbentuk serbuk). Hasil pengujian kandungan kimia dapat dilihat pada Tabel berikut;

Tabel 4. Kandungan limbah marmer

Komposisi Kimia	Kandungan (%)
CaO	98,63
Fe ₂ O ₃	0,44
CuO	0,04
MoO ₃	0,34
Yb ₂ O ₃	0,56

Hasil uji XRF limbah marmer menunjukkan bahwa kandungan terbesar dari limbah marmer adalah CaO, yaitu sebesar 98,63%.

2. Hasil Pengujian Beton Geopolimer

a. Slump Tes

Pengujian slump dilakukan untuk mengetahui kekentalan dari campuran beton. Pengujian slump dilakukan dengan menggunakan kerucut berdiameter atas 10 cm, dan diameter bawah 20 cm, dengan tinggi kerucut sebesar 30 cm. Hasil uji slump menunjukkan bahwa substitusi limbah marmer bisa mengurangi nilai slump (*workability*). Semakin banyak persentase

substitusi limbah marmer terhadap *fly ash*, maka nilai slumpnya akan semakin kecil.

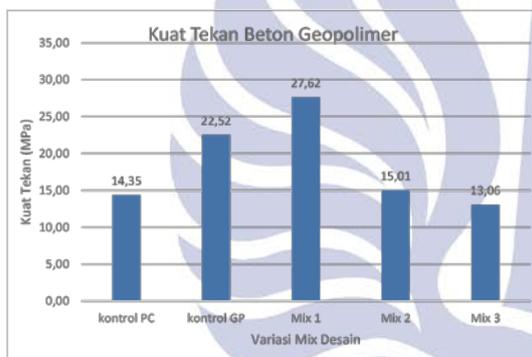
Gambar 3. Grafik hasil uji porositas

Tabel 5. Hasil uji slump

Mix Desain	Nilai Slump (cm)
OPC	12
Kontrol GP	20
Mix 1	14
Mix 2	8
Mix 3	4

b. Kuat Tekan Beton Geopolimer

Hasil pengujian kuat tekan beton silinder dapat digunakan untuk mengetahui mutu atau kualitas dari beton tersebut. Pengujian beton ini dilakukan pada umur 28 hari dengan hasil pengujian yang dapat dilihat pada Grafik berikut;



Gambar 2. Grafik kuat tekan beton geopolimer

Kuat tekan beton tertinggi terjadi pada persentase substitusi limbah marmer sebesar 10%, dan akan semakin menurun ketika persentase substitusinya semakin besar.

c. Porositas

Uji porositas bertujuan untuk mengetahui besar angka pori pada beton. Semakin besar persentase angka pori, maka akan berpengaruh pada nilai kuat tekan beton yang semakin kecil. Beton dengan angka pori yang tinggi juga berpengaruh pada ketahanannya terhadap serangan asam atau pun garam.

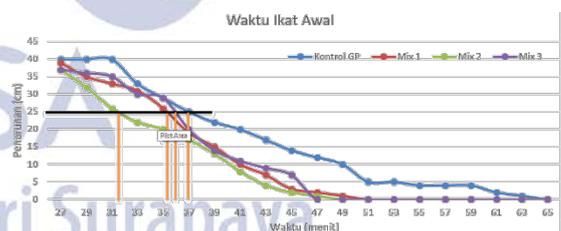


d. Uji Vicat

Pengujian vicat atau juga biasa disebut uji ikat awal bertujuan untuk mengetahui seberapa cepat waktu dari mortar memulai reaksi pengikatan. Pengujian vicat mortar dilakukan menggunakan alat uji vicat dengan ukuran diameter atas 60 mm, diameter bawah 70 mm dan tinggi 40 mm.

Tabel 6. Hasil uji vicat

Durasi	Mix Desain			
	Kontrol GP	Mix 1	Mix 2	Mix 3
25	40	40	40	40
27	40	39	37	37
29	40	35	32	36
31	40	33	26	35
33	33	31	22	30
35	29	26	20	29
37	25	19	17	20
39	22	15	13	14
41	20	10	8	11
43	17	7	4	9
45	14	3	2	7
47	12	2	1	0
49	10	1	0	0
51	5	0	0	0
53	5	0	0	0
55	4	0	0	0
57	4	0	0	0
59	4	0	0	0
61	2	0	0	0
63	1	0	0	0
65	0	0	0	0



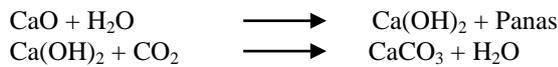
Gambar 4. Grafik hasil uji vicat

Hasil uji vicat menunjukkan substitusi limbah marmer mempengaruhi waktu ikat awal, dimana semakin banyak persentase substitusi akan semakin cepat waktu ikat awal beton dan beton juga semakin kental.

3. Pembahasan

Substitusi maksimum limbah marmer terjadi pada mix desain 1, yaitu substitusi limbah marmer sebesar 10% dari *fly ash*. Peningkatan kekuatan ini terjadi karena kandungan CaO yang tinggi, yang terdapat pada limbah marmer. Hasil uji laboratorium menunjukkan kandungan CaO pada limbah marmer sebesar 98,63%. Pujianto,

As'at dkk (2013) menjelaskan bagaimana CaO bisa meningkatkan kuat tekan pada beton geopolimer. CaO yang bereaksi dengan air akan menghasilkan kapur padam atau Ca(OH)₂ atau juga biasa disebut dengan mortar air. Mortar air akan menyerap CO₂ di udara bebas dengan proses kimia yang akan menghasilkan CaCO₃. CaCO₃ ini lah yang memiliki sifat yang padat dan keras.



Pendapat tersebut diperkuat dengan hasil dari penelitian Septia G. Pugar (2011) yang menunjukkan hasil tes kuat tekan terhadap NaOH:Na₂SiO₃ Beton Geopolimer dengan Fly Ash Tipe C dan F pada tabel berikut:

Tabel 7. Hasil uji kuat tekan terhadap naoh:Na₂SiO₃ beton geopolimer dengan fly ash tipe C dan F

NaOH	NaOH : Na ₂ SiO ₃	Air/Pre kursor	Pasir/Fly Ash	Suhu Curing	Waktu Curing (jam)	Umur Mortar (hari)	Kuat Tekan (Mpa)	
							FA tipe C	FA tipe F
8 M	1:01	0,3	2	90°C	24 + 6	7	54,87	31,42
8 M	1:02	0,3	2	90°C	24 + 6	7	72,23	61,69
8 M	1:2,5	0,3	2	90°C	24 + 6	7	63,71	62,11
8 M	1:03	0,3	2	90°C	24 + 6	7	59,3	54,44
8 M	1:3,5	0,3	2	90°C	24 + 6	7	54,66	59,44

Hasil penelitian tersebut menunjukkan kuat tekan beton geopolimer yang menggunakan fly ash tipe C lebih tinggi dibandingkan dengan fly ash tipe F. Perbedaan kandungan kimia fly ash tipe C dan F bisa dilihat pada Tabel berikut;

Tabel 8. Kandungan kimia fly ash tipe C dan F

Oksida	Fly Ash Tipe C (%)	Fly Ash Tipe F (%)
SiO ₂	46,39	54
Al ₂ O ₃	20,08	29,12
Fe ₂ O ₃	13,32	9,81
CaO	13,07	1,33
SO ₃	2,16	0,65
MgO	1,09	0,81
Mn ₂ O ₃	0,15	0,04
Cr ₂ O ₃	0,01	---
Na ₂ O	0,17	<0,01
K ₂ O	0,77	0,96
TiO ₂	1,64	1,35
P ₂ O ₅	1,03	0,16

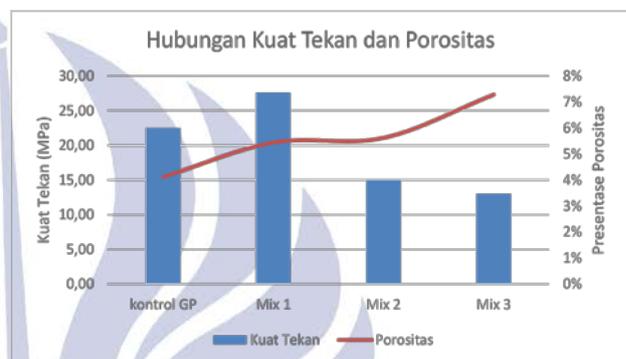
Hasil uji kimia dari fly ash tipe C dan F menunjukkan kandungan CaO pada fly ash tipe C lebih besar dibandingkan dengan tipe F. CaO dengan kadar terlalu besar juga akan berdampak pada menurunnya kuat tekan beton geopolimer.

Sifat CaO yang mudah melepaskan air ketika bereaksi dengan CO₂ menjadi penyebab nilai porositas akan semakin meningkat seiring dengan bertambahnya persentase substitusi limbah marmer. Semakin besar substitusi limbah marmer, jumlah fly ash juga akan semakin berkurang, begitu juga dengan kandungan silika yang berfungsi sebagai perekat yang terkandung di

dalamnya juga akan semakin sedikit. Limbah marmer yang memiliki karakteristik mudah menggumpal berdampak pada gradasi butirannya yang semakin buruk dimana gradasi butiran merupakan salah satu indikator yang bisa mempengaruhi porositas beton.

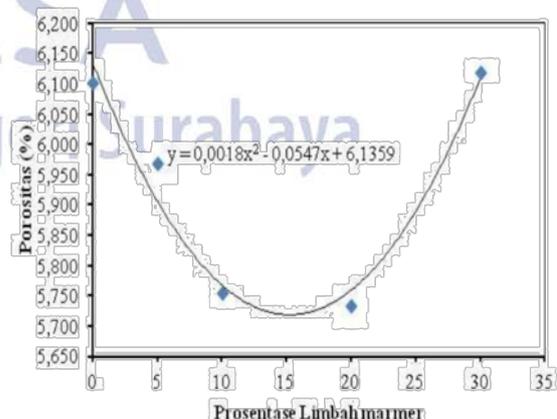
Tabel 9. Hubungan kuat tekan dan porositas beton pada umur 28 hari

Komposisi	Beton 28 hari	
	Kuat Tekan	Porositas
kontrol GP	22,52	4,12%
Mix 1	27,62	5,45%
Mix 2	15,01	5,62%
Mix 3	13,06	7,29%



Gambar 5. Hubungan kuat tekan dan porositas beton geopolimer pada umur 28 hari

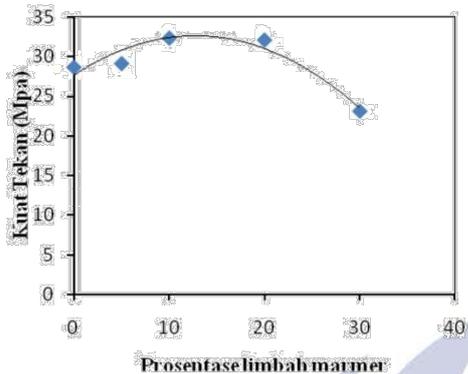
Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin tinggi persentase substitusi limbah marmer, porositas beton akan meningkat. Kuat tekan paling tinggi terjadi pada substitusi sebesar 10%, dan mengalami penurunan kekuatan pada substitusi 30% dan 50%. Hasil tersebut sesuai dengan penelitian Istiqomah dan Kurnia Shanti (2013), yang menunjukkan bahwa penambahan limbah marmer pada beton bisa mengurangi nilai porositas pada penambahan 0-20%, dan porositas beton kembali mengalami peningkatan pada penambahan 30%.



Gambar 6. Hubungan porositas dan persentase penambahan limbah marmer (Istiqomah dan Kurnia Shanti, 2013)

Kuat tekan beton juga memiliki kecenderungan pola yang sama, dimana pada persentase 0-20% penambahan limbah marmer, beton mengalami peningkatan kekuatan,

dan kuat tekan akan menurun pada persentase penambahan 30%.



Gambar 7. Hubungan kuat tekan beton dan persentase penambahan limbah marmer (Istiqomah dan Kurnia Shanti, 2013)

Limbah marmer memiliki kandungan CaO sebesar 98,63%. Sifat CaO yang mudah bereaksi dengan air juga berdampak pada tingkat workabilitas dan waktu ikat awal beton. Semakin tinggi konsentrasi CaO akan membuat adonan beton menjadi semakin kental, sehingga nilai slumpnya juga akan semakin kecil. Pengaruh substitusi limbah marmer terhadap waktu ikat awal beton dan hubungannya dengan nilai slump dapat dilihat pada Tabel dan Gambar berikut;

Tabel 10. Hubungan waktu ikat awal dan nilai slump

Campuran	Waktu Ikat Awal (menit)	Nilai Slump (cm)
Kontrol GP	38	20
Mix 1	35	14
Mix 2	32	8
Mix 3	36	4



Gambar 8. Grafik pengaruh substitusi limbah marmer terhadap waktu ikat awal beton dan hubungannya dengan nilai slump

Grafik tersebut menunjukkan bahwa waktu ikat awal dan nilai slump sama-sama mengalami penurunan sampai dengan substitusi limbah marmer sebesar 30%. Pengikatan

awal beton kembali mengalami peningkatan pada mix desain 3, tetapi mix desain 3 memiliki waktu ikat akhir paling cepat. Berikut tabel hasil waktu ikat awal dan waktu ikat akhir;

Tabel 11. waktu ikat awal dan waktu ikat akhir geopolimer

Campuran	Waktu Ikat Awal (menit)	Waktu Ikat Akhir (menit)
Kontrol GP	38	65
Mix 1	35	51
Mix 2	32	49
Mix 3	36	47

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian, maka dapat disimpulkan:

- Kuat tekan beton geopolimer meningkat pada persentase substitusi 10%, dan menurun pada substitusi 30% dan 50%. Hasil kuat tekan beton geopolimer pada umur 28 hari dengan substitusi 0%, 10%, 30% dan 50% berturut-turut adalah 22,52 MPa, 27,62 MPa, 15,01 MPa, dan 13,06 MPa. Hasil porositasnya berturut-turut adalah 4,12%, 5,45%, 5,62%, dan 7,29%.
- Substitusi maksimum limbah marmer terjadi pada persentase 10%. Beton geopolimer dengan substitusi 10% memiliki kuat tekan yang paling tinggi, yaitu sebesar 27,62 MPa.

Saran

Hasil dari kesimpulan diatas dan merujuk kepada hasil penelitian, maka untuk mendapatkan hasil penelitian yang lebih baik disarankan beberapa hal sebagai berikut:

- Beton geopolimer berbahan dasar *fly ash* memiliki karakteristik kuat tekan yang masih meningkat pada umur lebih dari 28 hari, sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan umur beton yang lebih lama.
- Penggunaan limbah marmer sebagai bahan substitusi masih perlu dikembangkan lagi dengan penelitian menggunakan *fly ash* dengan tipe lain.
- Penggunaan limbah marmer sebagai substitusi *fly ash* berdampak pada tingkat workabilitas yang buruk, sehingga perlu dilakukan penelitian dengan penambahan *superplasticizer* untuk menambah workabilitas beton.

DAFTAR PUSTAKA

- A.A. Gede Sutapa. 2011. "Porositas, Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Belah Beton Dengan Agregat Kasar Batu Pecah Pasca Dibakar". *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil. Vol. 15, No. 1: hal. 50-57.*
- As'at Pujianto. Anzlla NA. Martiana DC. Dan Hendra. 2013. "Kuat Tekan Beton Geopolimer dengan

- Bahan Utama Bubuk Lumpur Lapindo dan Kapur”. *Jurnal Koferensi Nasional Teknik Sipil 7 (KoNTekS7)*: hal. M-129 – M-136.
- Davidovits, Joseph. 2011. “Geopolymer Chemistry and Application 3rd Edition”. *Saint-Quentin. Institut Gepolymer*.
- Davidovits, Joseph. 1991. “Geopolymer : Inorganic Polimeric New Material”. *Journal of Thermal Analysis. Vol. 37, hal. 1633-1655*.
- Koraia, Masyita Dewi. 2013. “Pengaruh Penambahan Fly Ash Dalam Campuran Beton Sebagai Substitusi Semen Ditinjau Dari Umur Dan Kuat Tekan”. *PILAR Jurnal Teknik Sipil. Vol. 9, No. 2 : hal. 149-153*.
- Manuahe, Riger. Sumajouw, Marthin D.J. Windah, Reky S. 2014. “Kuat Tekan Beton Geopolymer Berbahan Dasar Abu Terbang (Fly Ash)”. *Jurnal Sipil Statik Vol. 2 No. 6: hal. 277-282*.
- Maulana, Rusda. 2016. *Hubungan Tegangan-Regangan geopolymer Berbahan Dasar Abu Terbang (Fly Ash) Dan Limbah Kulit Kerang Sebagai Pengganti Semen Dengan Alkali Aktivator Pada Temperatur Normal*. Skripsi tidak diterbitkan. Surabaya: Universitas Negeri Surabaya.
- Nath, P, and PK Sharker. 2014. “Effect of GGBFS on setting, workability and early strength properties of fly ash geopolymer concrete cured in ambient condition”. *Jurnal Construction and Building Materials 66 (2014). Hal: 163–171*.
- Septia G, Pugar. 2011. *Studi Literatur Pengaruh Konsentrasi Naoh dan Rasio Naoh:Na₂SiO₃, Rasio Air/Prekursor, Suhu Curing, dan Jenis Prekursor terhadap Kuat Tekan Beton Geopolimer*. Skripsi tidak diterbitkan. Depok: Universitas Indonesia.
- SNI 03-6827-2002. *Metode Pengujian Waktu Ikat Awal Semen Portland Dengan Menggunakan Alat Vicat Untuk Pekerjaan Sipil*. Badan Standarisasi Nasional. Indonesia.
- Wardhono et al. 2015. “Flexural Strenght Of Low Calcium Class F Fly Ash-Based Geopolymer Concrete In Long Term Performance”. *Jurnal Procedia Engineering. Hal: 650-656*.
- Wardhono, Arie, David W. Law, Tom. C.K Molyneaux. 2012. “Strenght Of Alkali Activated Slag And Fly Ash – Based Geopolimer Mortar”. *jurnal researchgate*.
- Wardhono, Arie. 2015. *The Durability Of Fly Ash Geopolimer And Alkali-Activated Slag Concretes*. Melbourne: RMIT University.