

# GEOPOLYMER CONCRETE USING FLY ASH, TRASS, SIDOARJO MUD BASED MATERIAL

by Januarti Jaya Ekaputri<sup>a</sup> and Triwulan<sup>a</sup>

## ABSTRACT

*This paper presents the results of investigation to assess the mechanical properties of geopolymer concrete made with fly ash as a base material. Previous study showed that the compressive strength of geopolymer concrete were dependent on pozzolanic materials used and the concentration of activator solution in the mixture. The effort to use Sidoarjo Mud and trass as an additive material in the mixture was investigated in this study to analyze the mechanical properties of the concrete. NaOH solution mixed with Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> was used as the activator solution which varied from 8 M to 14 M. Ratio of Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> to NaOH solution by mass were also varied from 0.5 to 2.5. Trass and Sidoarjo Mud were introduced as the filler and mixed with fly ash to replace the volume of fly ash. Compressive strength test of cylindrical specimens at 28 days, split strength test and porosity test were carried out comprehensively to compare the specimens from each composition. The results showed that the best concrete will be produced when denser NaOH solution was used. Ratio of Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> to NaOH in the solution also plays an important role to improve the mechanical properties of concrete. The result of this study also shows that Sidoarjo Mud is a prospective material for making geopolymer concrete.*

**KEYWORDS:** concrete, fly ash, geopolymer, Sidoarjo Mud, trass.

## PENDAHULUAN

Beton ramah lingkungan (green concrete) dewasa ini menjadi isu dalam industri konstruksi. Pengurangan penggunaan jumlah semen portland harus menjadi prioritas para praktisi dan produsen semen. Salah satu usaha yang dilakukan adalah menghindari penggunaan semen portland dengan mengembangkan pembuatan beton geopolimer. Beton ini 100% tidak menggunakan semen portland. Beberapa material yang bersifat pozolan dapat digunakan sebagai pengikat (binder), di antaranya fly ash, meta kaoline, abu sekam atau material vulkanik.<sup>1</sup> Fly ash, salah satu material dasar yang paling banyak digunakan, didapatkan dari hasil pembakaran batu bara. Beton geopolimer berbahan dasar fly ash ini terbentuk dari reaksi kimia dan bukan dari reaksi hidrasi seperti pada beton biasa.<sup>2</sup> Oleh karena itu, aktivator yang dipilih harus sesuai dengan senyawa yang terkandung dalam fly ash. Selain itu, komposisi aktivator yang digunakan harus tepat sehingga bisa terjadi reaksi kimia yang bisa mengikat agregat pembentuk beton. Aktivator yang umumnya digunakan adalah Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> dan NaOH berkonsentrasi 8M sampai 14M dengan perbandingan antara Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> dan NaOH diambil antara 0.4 sampai 2.5.<sup>3</sup>

Di sisi lain, Lumpur Sidoarjo (Lusi) yang terus menerus menumpuk sebagai material yang belum diolah menjadi salah satu perhatian di kalangan akademisi.<sup>4,5</sup> Material ini bisa digunakan sebagai pengisi pada beton geopolimer. Kesulitan yang dihadapi pada saat pengecoran adalah setting timenya yang sangat cepat serta tingginya kemampuan material ini dalam menyimpan air.<sup>6</sup> Beberapa cara sudah dicoba untuk menghasilkan beton geopolimer berbahan dasar lumpur basah atau kering dan telah menunjukkan potensi Lusi sebagai bahan campuran

pada beton.

Material lain yang bersifat pozolan adalah trass, yang dihasilkan dari letusan gunung berapi. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa material vulkanik memiliki silika dan alumina yang cukup reaktif jika dicampur dengan semen portland.<sup>7</sup> Sifat pozolanik yang dikandung dalam trass diharapkan bisa memberikan efek positif pada kuat tekan beton geopolimer berbahan dasar fly ash.

Penelitian mengenai beton geopolimer berbahan limbah sangat sedikit dilakukan di Indonesia. Oleh sebab itu, penelitian ini perlu terus dikembangkan. Selain memberi dampak positif bagi lingkungan, keberhasilan penelitian ini diharapkan bisa menambah wawasan masyarakat mengenai pemanfaatan beton geopolimer berbahan dasar limbah sebagai bahan beton alternatif.

## MATERIAL YANG DIGUNAKAN

Spesimen yang dibuat adalah beton berbentuk silinder berukuran diameter 10cm dan tinggi 20 cm. Bahan beton yang terdiri dari binder, larutan aktivator dan agregat diaduk dalam molen pengaduk beton dengan urutan batu pecah pasirbinder activator tambahan air (jika perlu). Pasta beton ini dicetak dalam cetakan berbentuk silinder. Sehari setelah pengecoran, beton dikeluarkan dari cetakkannya dan diangin-anginkan pada suhu kamar untuk kemudian dilakukan pengujian sesuai dengan umur beton 3, 7, 14, 21 dan 28 hari.

Beton dibuat berdasarkan campuran seperti pada Gambar 1. Berdasarkan jenis bindernya, ada 4 variasi beton, yaitu:

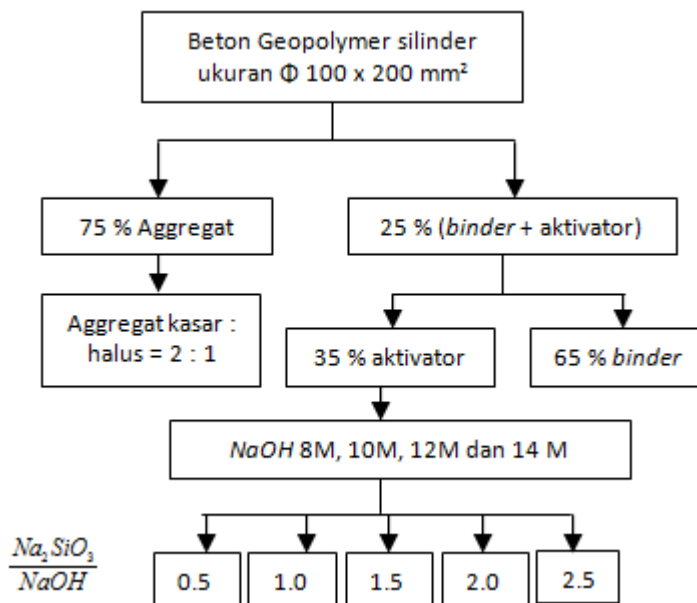
- Binder tipe A, dari bahan dasar fly ash murni
- Binder tipe B, dari fly ash yang ditambahi Lusi kering dengan komposisi 75% fly ash : 25% Lusi kering
- Binder tipe C, dari fly ash yang ditambahi Lusi bakar dengan komposisi 75% fly ash : 25% Lusi bakar
- Binder tipe D, dari fly ash yang ditambahi bubuk trass dengan komposisi 75% fly ash:25% trass
- Komposisi kimia fly ash, Lusi dan trass dirangkum dalam Tabel 1.

<sup>a</sup>Lecturer in the Department of Civil Engineering, Sepuluh Nopember Institute of Technology (ITS), ITS Campus, Sukolilo, Surabaya 60111, Indonesia.

Note. The manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on October 15, 2011. Discussion open until November 2012. This paper is part of the ITS Journal of Civil Engineering, Vol. 31, No. 2, November 2011. © ITS Journal of Civil Engineering, ISSN 2086-1206/2011.

**Tabel 1.** Komposisi Kimia Binder (%) dengan analisa XRF

Bahan	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MgO	SO <sub>3</sub>	SO <sub>2</sub>	LOI
Fly Ash	52.2	38.6	2.9	0.7	0.5	0.4	0.5	1.2	-	1.4
Lusi Kering	53.1	18.3	5.6	2.1	3.0	1.4	2.9	-	3.0	10.2
Lusi Bakar	46.0	14.0	25.5	5.6	-	3.0	-	2.6	-	3.3
Trass	87.5	0.2	1.9	1.7	0.8	0.41	0.9	0.5	-	6.2



**Gambar 1.** Komposisi Campuran Beton

### Fly Ash sebagai Binder Utama

Fly ash yang digunakan dalam penelitian ini termasuk dalam kelas F (ASTM C 618-03)<sup>8</sup> berasal dari Jawa Power Paiton, Probolinggo, Jawa Timur. Dalam pembuatan binder berbahan dasar fly ash murni, digunakan campuran 65% fly ash dan 35% larutan aktivator.

### Lumpur Sidoarjo (Lusi) dalam Binder Tipe B dan C

Lusi diambil dari Porong, Sidoarjo dan dikeringkan dalam oven pada suhu minimal 100°C (Gambar 2). Lusi yang sudah kering ini kemudian dihaluskan sehingga lolos saringan no 200 (75µ). Lusi bakar (Gambar 3) didapatkan dari Lusi kering yang dibakar pada suhu 800°C-850°C selama 2 jam, kemudian dihaluskan sehingga lolos saringan no 200. Lusi kering dan Lusi bakar yang digunakan dalam campuran binder tipe B dan tipe C adalah sebanyak 25% menggantikan berat fly ash. Dalam pembuatan beton tipe B ini, tambahan air sebanyak 80%-100% dari berat Lusi diperlukan pada proses pengecoran karena rendahnya workabilitas.<sup>6</sup>

### Trass dalam Binder Tipe D

Trass (Gambar 4) diambil dari PT Semen Gresik yang berasal dari Pasuruan. Bahan ini dihaluskan sehingga lolos saringan no 200. Trass termasuk dalam kelas N (ASTM C 618-03).<sup>8</sup> Trass yang digunakan dalam campuran binder tipe D adalah sebanyak 25% menggantikan berat fly ash.



**Gambar 2** Lusi Kering oven



Gambar 3. Lusi bakar



Gambar 4. Trass dari Pasuruan

#### Alkali Aktivator

Aktivator yang digunakan dalam penelitian ini yaitu  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  (Gambar 5) dan  $\text{NaOH}$  berkonsentrasi 8M sampai 14M dengan perbandingan antara  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  dan  $\text{NaOH}$  diambil antara 0.5; 1.0; 1.5; 2.0 dan 2.5.



Gambar 5. Sodium silikat



Gambar 6. Serbuk NaOH

Larutan yang terbuat dari  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  dan serbuk  $\text{NaOH}$  (Gambar 6) dicampur dengan aquades sampai merata dan didiamkan sehingga suhu larutan sesuai dengan suhu ruang.

#### Agregat

Dalam penelitian ini, agregat halus (pasir) yang digunakan berasal dari Lumajang dengan berat jenis

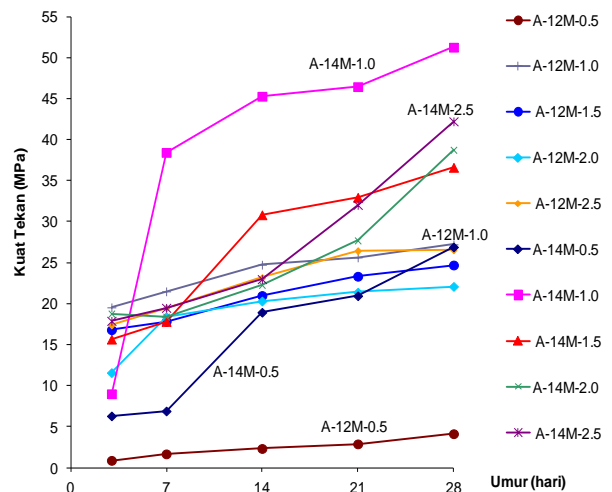
$2670\text{kg/m}^3$ . Agregat kasar yang digunakan berupa batu pecah berukuran maksimum 20 mm. Perbandingan berat antara pasir dan batu pecah adalah 1:2.

#### PENGUJIAN DI LABORATORIUM

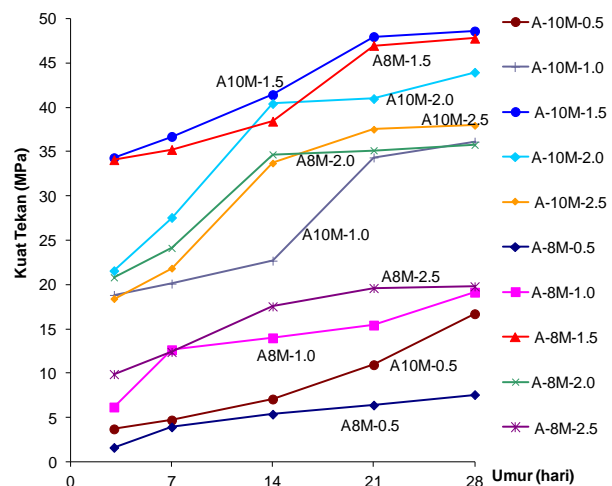
Sifat mekanik beton diuji dengan tes kuat tekan (ASTM C 39-03),<sup>9</sup> kuat belah (ASTM C496-03)<sup>10</sup> dan porositas (AFNOR NF B 49104) untuk mengetahui jenis pori pada beton berumur 28 hari. Seluruh pengujian dilakukan di Laboratorium Beton dan Bahan Bangunan, ITS, Surabaya. Hasil pengujian yang dievaluasi merupakan nilai rata-rata dari 3 benda uji.

#### HASIL DAN PEMBAHASAN

##### Pengaruh Larutan Aktivator



Gambar 7. Kuat Tekan pada Beton A dengan Larutan Aktivator 12M dan 14M

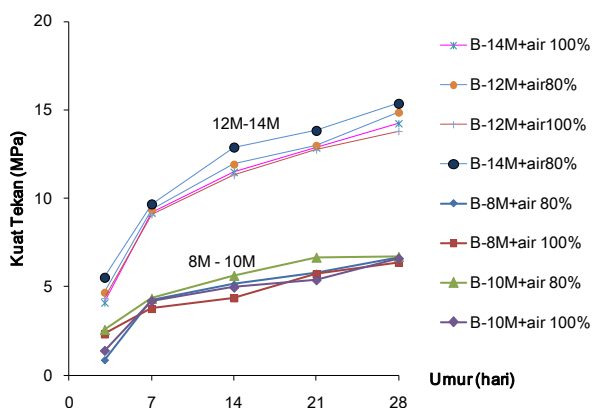


Gambar 8. Kuat Tekan pada Beton A dengan Larutan Aktivator 8M dan 10M

Pada Gambar 7 dan Gambar 8, ditampilkan hasil kuat tekan beton dari tipe binder A berbahan dasar fly ash murni. Terlihat bahwa beton tipe A yang dibuat dengan larutan  $\text{NaOH}$  14M memberikan kuat tekan yang paling tinggi dibandingkan beton lainnya. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Provis pada tahun 2005 (Provis dan Van Deventer, 2009) yang menyatakan

bahwa NaOH berperan dalam pembentukan formasi zeolit. Namun demikian, peran  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  dalam larutan aktivator juga berperan dalam meningkatkan kuat tekan karena mempercepat terjadinya reaksi pada proses polimerisasi. Beton yang mengandung sedikit  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  dalam larutan NaOH pekat tidak dapat mencapai kuat tekan yang tinggi. Larutan aktivator juga mempengaruhi workabilitas beton pada saat pengecoran yang menyebabkan beton tidak padat. Larutan yang terlalu pekat akibat konsentrasi NaOH atau kandungan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  dapat menurunkan kuat tekan karena kesulitan saat pengadukan dan pengecoran.<sup>9</sup> Dengan demikian, untuk pembuatan beton struktural, beton tipe A ini direkomendasikan jika perbandingan berat  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  dan NaOH adalah di antara 1.0-2.5 dengan konsentrasi NaOH di antara 8M-14M.

### Pengaruh Lusi Kering



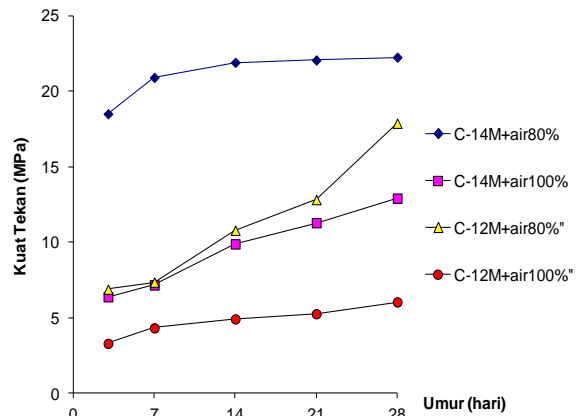
**Gambar 9.** Kuat Tekan pada Beton B menggunakan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  sebanyak 2.5 kali larutan NaOH

Pada Gambar 9, terlihat bahwa penggantian 25% berat fly ash dengan Lusi kering menyebabkan kuat tekan beton menjadi turun. Hal ini disebabkan karena pada campuran binder B, Lusi kering hanya bersifat sebagai pengisi (filler) sehingga mengurangi daya ikat binder terhadap agregat. Penambahan air untuk meningkatkan workabilitas pada beton tipe B menyebabkan konsentrasi larutan aktivator menurun yang mengurangi kuat tekan beton. Peran konsentrasi larutan aktivator sangat berpengaruh pada daya ikat binder. Hal ini ditunjukkan oleh beton B yang terbuat dari larutan NaOH 12M dan 14M dengan perbandingan berat  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  dan NaOH sebesar 2.5. Secara umum kuat tekan beton berkurang sebesar 62% pada larutan NaOH 12M dan 14M serta berkurang sebesar 83% pada larutan NaOH 8M dan 10M. Sehingga untuk penggunaan beton non-struktural, beton tipe B dengan larutan aktivator NaOH 12M sampai 14M bisa direkomendasikan. Beton tipe ini tidak bisa digunakan untuk pembuatan elemen beton struktural.

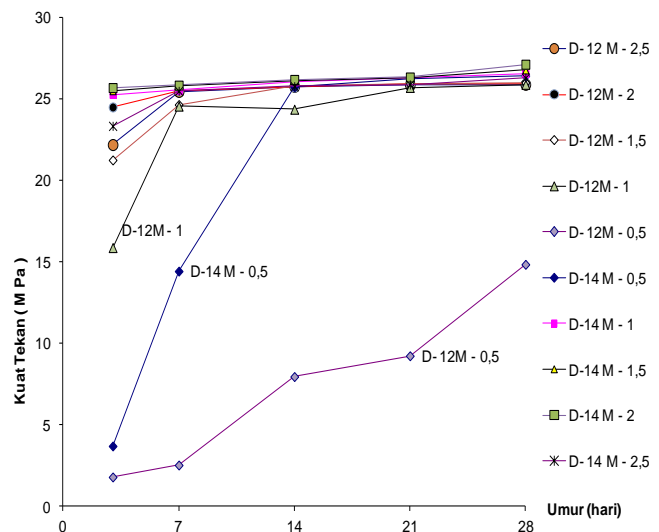
### Pengaruh Lusi Bakar

Kuat tekan beton tipe C pada Gambar 10 menunjukkan bahwa kemampuan binder C mengikat agregat meningkat jika Lusi dibakar terlebih dahulu. Lusi bakar menyebabkan oksida dalam bentuk silika dan alumina yang terkandung dalam Lusi menjadi aktif. Oksida ini berperan dalam proses polimerisasi yang

bereaksi dengan larutan aktivatornya. Penggantian fly ash sebesar 25% dengan Lusi bakar secara umum hanya menurunkan kuat tekan beton sebesar 47% pada larutan NaOH 14M dan 33% pada larutan NaOH 12M. Untuk beton tipe C ini, disarankan menggunakan tambahan air maksimal 80% terhadap berat Lusi bakar. Beton struktural bisa dibuat dari tipe beton C dengan konsentrasi larutan NaOH 12M-14M dan perbandingan berat  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  dan NaOH 2.5.



**Gambar 10.** Kuat Tekan pada Beton C menggunakan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  sebanyak 2.5 kali larutan NaOH



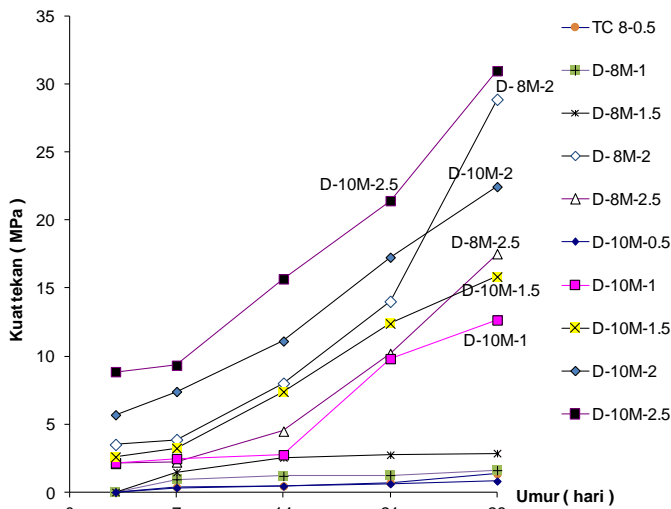
**Gambar 11.** Kuat Tekan pada Beton D dengan Larutan Aktivator 12M dan 14M

### Pengaruh Trass

Pada Gambar 10 dan Gambar 11 diperlihatkan bahwa kuat tekan beton tipe C sangat tergantung pada konsentrasi larutan aktivator. Beton mencapai kuat tekan sesungguhnya hanya dalam waktu 3-7 hari setelah pengecoran jika digunakan NaOH 12M – 14M. Semakin banyak  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  dalam larutan, semakin cepat beton mencapai titik kekuatan optimumnya. Beton dengan larutan NaOH 8M-10M masih menunjukkan trend kenaikan kuat tekan walaupun umur beton melewati 28 hari. Trass sebagai material vulkanik bereaksi lambat dalam alkali yang rendah. Hal ini sesuai dengan penelitian<sup>7</sup> yang menyarankan penggunaan suhu tinggi pada curing beton berbahan material vulkanik.

Dari hasil pengujian untuk beton tipe D ini, direkomendasikan bahwa untuk beton struktural, trass

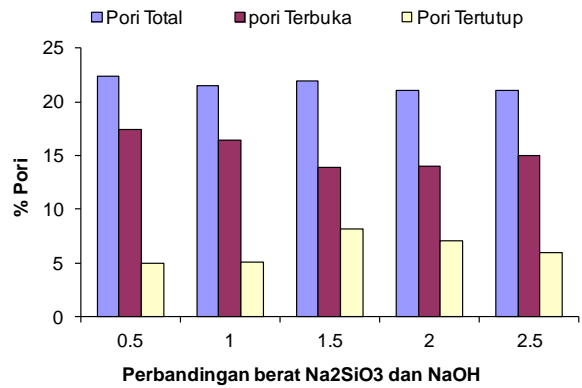
dapat digunakan sebagai campuran asalkan perbandingan berat  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  dan  $\text{NaOH}$  berkisar antara 2-2.5, sedangkan konsentrasi larutan  $\text{NaOH}$  yang disarankan adalah 10M-14M.



**Gambar 12.** Kuat Tekan pada Beton D dengan Larutan Aktivator 8M dan 10M

pada beton konvensional, kuat belah beton biasanya berkisar antara 10% dari kuat tekannya.

Pada beton A, kuat belahnya paling tinggi dihasilkan oleh beton dengan perbandingan berat  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  dan larutan  $\text{NaOH}$  berkisar antara 1.0-2.5. Sama halnya dengan beton D, perbandingan berat  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  dan larutan  $\text{NaOH}$  sekitar berkisar antara 1.0-2.5 memberikan kuat belah tertinggi.



**Gambar 13.** Prosentase Pori dalam Beton A dengan Larutan  $\text{NaOH}$  8M

### Kuat Belah Beton

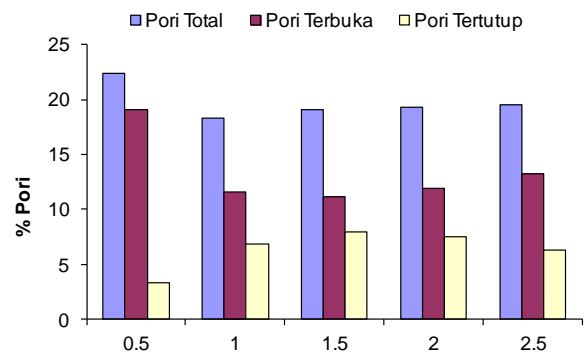
**Tabel 2.** Hubungan Kuat Tekan dan Belah Beton A

Kode	Tekan $f_c'$	Belah	$f_t/f_c'$
	(MPa)	$f_t$ (MPa)	
A8-0.5	7.58	0.20	0.03
A8-1.0	19.13	1.48	0.08
A8-1.5	47.78	2.32	0.05
A8-2.0	35.76	2.24	0.06
A8-2.5	19.79	1.51	0.08
A10-0.5	16.7	1.73	0.10
A10-1.0	36.11	2.74	0.08
A10-1.5	48.59	3.20	0.07
A10-2.0	43.94	3.08	0.07
A10-2.5	37.95	2.99	0.08

**Tabel 3.** Hubungan Kuat Tekan dan Belah Beton D

Kode	Tekan $f_c'$	Belah	$f_t/f_c'$
	(MPa)	$f_t$ (MPa)	
D12-0.5	14.84	0.15	0.01
D12-1.0	25.88	0.45	0.02
D12-1.5	26.00	1.49	0.06
D12-2.0	25.92	1.98	0.08
D12-2.5	25.88	1.81	0.07
D14-0.5	26.41	0.25	0.01
D14-1.0	45.52	0.70	0.02
D14-1.5	47.08	1.75	0.04
D14-2.0	55.41	2.08	0.04
D14-2.5	26.28	2.36	0.09

Pada Tabel 2 dan Tabel 3 disajikan perbandingan antara kuat belah beton terhadap kuat tekannya. Seperti



**Gambar 14.** Prosentase Pori dalam Beton A dengan Larutan  $\text{NaOH}$  10M

### Porositas Beton

Tes porositas beton geopolimer bertujuan untuk mengetahui besarnya pori terbuka dan pori tertutup yang ada di dalam matriks beton tersebut. Pori terbuka yaitu pori yang bersifat permeable (dapat ditembus, baik oleh udara ataupun air). Pori tertutup adalah pori yang bersifat impermeable (tidak dapat ditembus). Pori yang tertutup lebih baik dari pada pori yang terbuka karena pori yang tertutup memiliki tekanan hidrostatis yang menambah kuat tekan binder dan terhindar dari retak, sedangkan pori yang terbuka membuat binder menjadi keropos sehingga menurunkan kuat tekan binder.

Semakin tinggi molaritas, jumlah total pori semakin sedikit tetapi jumlah pori tertutup semakin banyak. Hal ini dipengaruhi oleh kekentalan yang dimiliki oleh  $\text{NaOH}$  dalam campuran setiap komposisi.<sup>10</sup> Kepekatan berhubungan dengan banyaknya air yang dicampurkan dalam larutan. Pada saat proses curing dilakukan, air yang berada dalam binder akan menguap sehingga rongga yang dulunya ditempati oleh air menjadi kosong. Binder yang menggunakan larutan  $\text{NaOH}$  10M lebih pekat jika

dibandingkan dengan binder yang menggunakan larutan 8M. Oleh sebab itu, diperkirakan jumlah air yang berada dalam rongga binder 10M lebih sedikit jika dibandingkan dengan binder yang menggunakan larutan NaOH 8M dan hal itu menyebabkan jumlah total pori binder 8M relatif lebih banyak jika dibandingkan dengan binder 10M.

Berdasarkan Gambar 13 dan Gambar 14, terlihat bahwa ada titik optimum yang menunjukkan pori tertutup paling besar, yaitu pada perbandingan antara  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  dan larutan NaOH 1.5. Pada titik ini beton A mempunyai kuat tekan paling tinggi. Hal ini membuktikan bahwa ada hubungan erat antara porositas dan kuat tekan pada beton geopolimer.

## KESIMPULAN

Beberapa hal yang dapat disimpulkan dari penelitian ini adalah.

- Semakin tinggi perbandingan berat  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  dan larutan NaOH tidak selalu menghasilkan kuat tekan dan kuat tarik belah yang tinggi pula, sedangkan semakin tinggi molaritas yang digunakan, maka semakin tinggi pula kuat tekan dan kuat tarik belah yang dihasilkan. Beton geopolimer yang menggunakan molaritas 14M menghasilkan kuat tekan yang lebih besar jika dibandingkan dengan beton geopolimer dengan molaritas yang lebih rendah.
- Untuk beton geopolimer tipe A yang menggunakan aktivator dengan molaritas 8M dan 10 M, titik optimum kuat tekan dihasilkan jika perbandingan berat  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  dan larutan NaOH =1.5 dengan nilai masing-masing 47.78 MPa dan 48.59 MPa. Sedangkan yang menggunakan aktivator dengan molaritas 12M dan 14 M, titik optimum kuat tekan dihasilkan jika perbandingan berat  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  dan larutan NaOH =1.0 dengan nilai masing-masing 27,23 MPa dan 51,27 MPa.
- Kuat tekan terendah beton geopolimer tipe A dihasilkan oleh campuran yang menggunakan perbandingan berat  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  dan larutan NaOH =0.5 untuk molaritas 8M, 10M, 12M, dan 14M.
- Untuk beton geopolimer tipe B yang menggunakan Lusi kering sebanyak 25% dari berat binder, titik optimum kuat tekan dihasilkan jika digunakan larutan NaOH 14 M dengan kuat tekan sebesar 15.4 MPa. Jenis beton ini hanya bisa diterapkan untuk beton non-struktural, karena Lusi kering hanya bersifat sebagai pengisi pada matriks beton.
- Untuk beton geopolimer tipe C yang menggunakan Lusi bakar sebanyak 25% dari berat binder, titik optimum kuat tekan dihasilkan jika digunakan larutan NaOH 12-14 M dengan kuat tekan optimum sebesar 22.3 MPa. Jenis beton bisa diterapkan untuk beton struktural, asalkan digunakan larutan NaOH 12M-14M serta perbandingan berat  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  terhadap NaOH =2.5.
- Untuk beton geopolimer tipe D yang menggunakan trass sebanyak 25% dari berat binder, titik optimum kuat tekan dihasilkan jika digunakan larutan NaOH 12-14 M dengan kuat tekan optimum sebesar 28.3 MPa. Jenis beton bisa diterapkan untuk beton

struktural, dengan menggunakan larutan NaOH 10M-14M serta perbandingan berat  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  terhadap NaOH antara 2-2.5. Untuk beton dengan konsentrasi tinggi, kuat tekan optimum tercapai hanya dalam waktu 3 hari setelah pengecoran.

- Dari hasil tes kuat tarik belah beton geopolimer didapatkan bahwa setiap beton yang memiliki kuat tekan tinggi, juga memiliki kuat tarik belah yang tinggi pula di setiap molaritas aktivatornya.
- Dari hasil tes porositas, dapat disimpulkan bahwa beton yang memiliki prosentasepori tertutup optimum mengindikasikan perilaku mikrostruktur yang baik. Hasil tes porositas ini berhubungan erat dengan hasil tes tekan dan tarik belah. Semakin banyak jumlah pori tertutup dalam beton, dan semakin sedikit jumlah pori terbukanya, maka semakin tinggi kuat tekan yang dihasilkan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Davidovits, J, (2008), *Geopolymer: Chemistry and Applications*, Geopolymer Institute, Perancis.
- Davidovits, J, Geopolymer (2005), *Green Chemistry and Sustainable Development Solutions*, Geopolymer Institute, Perancis.
- Hardjito, D., Wallah S.E and Rangan, B.V (2004), "Factor Influencing The Compressive Strength of Fly Ash Based Geopolymer Concrete", *Civil Engineering Dimension*, 6; Issue: 2; hal. 88 .
- Ekaputri, J.J. and Triwulan (2006), "The Efforts to Use Porong Mud as an Additive Material for Geopolymer Concrete", *Seminar Nasional Tentang Usaha Pemanfaatan Lumpur Porong sebagai Bahan Bangunan*, KLH, ITS, Surabaya.
- Ekaputri, J.J. and Triwulan (2006), "Study on Porong Mud-Based Geopolymer Concrete", *Jurnal HAKI (Himpunan Ahli Konstruksi Indonesia)*, Vol 7 No 2.
- Triwulan, Ekaputri, J. J dan Adiningtyas, T (2007), "Analisa Sifat Mekanik Beton Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash dan Lumpur Porong Kering sebagai Pengisi", *TORSI Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sipil*, 27(3), hal. 33 – 46.
- Hossain, Khandaker M. Anwar (2003). "Blended cement using volcanic ash and pumice". *Cement and Concrete Research* , 33, 1601–1605.
- 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 C39-01 (2003), "Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens".
- ASTM C496-03 (2003), "Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens".
- 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. 124-139.
- Ekaputri, J.J., Maekawa K.and Ishida T. (2010), "The Use of Geopolymerization Process for Boron

Fixation in Fly Ash”, *The 7th International Symposium on Cement & Concrete (ISCC2010) and the 11th International Conference on Advance in Concrete Technology and Sustainable Development*, Jinan, China.

13. Ekaputri, J.J. and Triwulan (2008), “Study on Mechanical Property of Porong Mud-Fly Ash Based Geopolymer Concrete”, *The Symposium on Agriculture, Science and Technology (SAST-2008)*, Tokyo, Jepang.