

PEMBUATAN GEOPOLIMER RINGAN BERBASIS *FLY ASH* BATUBARA DENGAN PENAMBAHAN *STYROFOAM*

Nurwulandari Saputri¹⁾, Amun Amri²⁾, Aman²⁾

¹⁾Mahasiswa Program Studi Teknik Kimia, ²⁾Dosen Teknik Kimia
Laboratorium Dasar Proses dan Operasi Pabrik
Program Studi Teknik Kimia S1, Fakultas Teknik Universitas Riau
Kampus Bina Widya Jl.HR. Soebrantas KM 12,5 Simpang Baru, Panam
Pekanbaru, 28293
nurwulandari.saputri@student.unri.ac.id

ABSTRACT

This study aims to make coal fly ash based light geopolymers with the addition of styrofoam as a lightweight aggregate. The light geopolymers was prepared by mixing the coal fly ash and high concentration of alkaline activator solution, with styrofoam. The mixture was then molded and formed to the geopolymers mortar and cured at temperature of 25°C for 28 days. The results indicated that the addition of styrofoam decreased the compressive strength and density of geopolymer mortar. The highest compressive strength was obtained from sample with the addition of 1.5% -wt styrofoam and the size of $1 > x \leq 5$ mm styrofoam, which 8.8 MPa. The mechanical properties of geopolymer mortar were affected by the amount of styrofoam added and the size distribution of styrofoam in the geopolymer matrix.

Keywords : *alkali activators, geopolymer, styrofoam*

A. PENDAHULUAN

Geopolimer merupakan perekat jenis baru yang dapat digunakan sebagai bahan pengganti semen konvensional. Potensi pengikat geopolimer untuk menggantikan pengikat OPC (*ordinary portland cement*) didukung oleh fakta bahwa ada banyak produk samping industri yang berpotensi sebagai bahan sumber geopolimer. Material yang memiliki kandungan SiO₂ dan Al₂O₃ yang tinggi berpotensi sebagai bahan geopolimer. Geopolimer dapat memiliki sifat seperti semen jika direaksikan dengan

larutan alkali aktivator (Lloyd & Rangan, 2017).

Penggunaan geopolimer dapat memberikan keuntungan dalam hal pemanfaatan limbah hasil buangan industri. Misalnya, *fly ash* yang merupakan produk samping industri pembangkit listrik tenaga batubara, merupakan 75-80% dari produksi abu tahunan global (Joseph & Mathew, 2012). *Fly ash* memiliki kandungan silika dan alumina yang tinggi, dengan aktivasi alkali dapat digunakan sebagai bahan dasar pembuatan geopolimer dengan sifat mekanik dan daya

tahan yang lebih unggul dibandingkan mortar OPC (Giasuddin et al., 2013).

Meskipun demikian penggunaan geopolimer saat ini masih sedikit diminati untuk berbagai aplikasi konstruksi seperti dinding bangunan dikarenakan densitas yang tinggi dari geopolimer (2400 kg/m^3) yang dapat menyebabkan bobot mati dari bangunan sangat tinggi. Salah satu solusi untuk mengurangi densitas tersebut yaitu dengan menambahkan agregat ringan pada proses pembuatan geopolimer.

Styrofoam atau *foam polystyrene* merupakan termoplastik hidrokarbon yang memiliki kepadatan rendah, bersifat inert serta stabil terhadap bahan kimia kecuali asam pekat, pelarut organik dan senyawa alifatik jenuh (Sayadi et al., 2016). *Styrofoam* biasa dikenal sebagai gabus putih pembungkus barang elektronik.

B. TINJAUAN PUSTAKA

B.1 Geopolimer

Geopolimer merupakan sintesis bahan produk samping industri suatu proses seperti *fly ash* dan bahan lainnya yang banyak memiliki kandungan SiO_2 dan Al_2O_3 yang dapat diaktifkan dengan alkali aktivator membentuk senyawa silikat alumina anorganik (Davidovits, 2002). Geopolimer pertama kali diperkenalkan oleh Profesor Davidovits pada tahun 1980-an sebagai perekat alternatif pengganti semen.

Proses pembentukan geopolimer disebut dengan geopolimerisasi, yaitu reaksi kimia yang terbentuk ketika senyawa silika dan alumina bereaksi dengan alkali aktivator dalam kondisi yang sangat basa membentuk ikatan polimer $(\text{Si-O-Al-O})_n$ dan $(\text{Si-O-Al-Si-O})_n$ (Duxson, 2009).

B.2 Material Penyusun Geopolimer

B.2.1 Prekursor

Prekursor merupakan bahan utama penyusun geopolimer yang memiliki kandungan silikat dan alumina yang tinggi sehingga dapat digunakan sebagai bahan pengganti utama pembuatan mortar yaitu semen *portland*. Umumnya prekursor geopolimer terdiri atas *fly ash*, slag, metakolin dan alumina silikat terkalsinasi (*kaolinite*) (Osio-nongaard et al., 2018).

B.2.2 Alkali Aktivator

Alkali aktivator merupakan bahan kimia yang digunakan untuk mengaktifkan prekursor sehingga dapat menghasilkan ikatan polimerisasi yang kuat dan biasanya berasal dari logam alkali yang dapat larut, yang pada umumnya adalah larutan berbasis natrium atau kalium.

B.2.3 Additive

Additive merupakan bahan yang ditambahkan pada tahap pembuatan mortar. Salah satu jenis *additive* yang ditambahkan pada campuran mortar seperti *superplasticizer*. *Additive* tidak bersifat

wajib pada campuran mortar, boleh tidak ditambahkan.

B.2.4 Agregat

Agregat merupakan bahan lain yang ditambahkan pada campuran mortar geopolimer selain prekursor. Agregat dapat berupa agregat halus dan agregat ringan. Agregat halus umumnya berupa pasir atau bahan lain yang memiliki besar butir 12 mesh. Sedangkan agregat ringan merupakan agregat yang ditambahkan dengan tujuan untuk mendapatkan densitas yang rendah pada mortar geopolimer contohnya *styrofoam*.

B.3 Expanded Polystyrene Foam (EPS)

EPS merupakan salah satu jenis *styrofoam* yang paling banyak digunakan sebagai bahan pengemasan barang elektronik yang biasanya dikenal dengan gabus putih. EPS memiliki kerapatan yang rendah, sifat isolasi termal yang baik, hidrofobik dan memiliki ketahanan kimiawi ketika terpapar asam dan alkali. Namun, EPS dapat larut pada pelarut organik seperti toluene, benzene dan kloroform (Peacock & Calhoun, 2006). EPS dapat digranulasi menjadi partikel kecil yang dapat dianggap sebagai non absorben dan agregat ringan polimer (Ferrandiz-Mas et al., 2014).

EPS menyumbang sekitar 0,1% dari limbah padat kota. Penggunaan EPS

sebagai bahan campuran mortar dapat menghasilkan sifat mekanis yang memadai pada aplikasi mortar sebagai agregat ringan (Ferrandiz-Mas & Garcia-Alcocel, 2012).

C. METODE PENELITIAN

C.1 Bahan

Bahan baku utama yang digunakan pada penelitian ini yaitu *fly ash* batubara sebagai prekursor, Na_2SiO_3 (32,6% SiO_2 , 14,8% NaO_2 dan 52,6% H_2O) dan NaOH 10 M sebagai alkali aktivator, pasir sebagai agregat halus dan *styrofoam* sebagai agregat ringan.

C.2 Variabel Penelitian

Variabel penelitian ini terdiri atas variabel tetap dan variabel berubah. Variabel tetap diantaranya yaitu komposisi geopolimer terdiri atas 80%-wt padatan (*fly ash* + Pasir) dengan rasio 1 : 3 dan 20%-wt cairan (Na_2SiO_3 + NaOH) dengan rasio 2,5. Konsentrasi NaOH yang digunakan 10 M dan waktu pengeringan mortar selama 28 hari pada suhu ruang. Sedangkan untuk variabel berubah terdiri atas jumlah penambahan *styrofoam* sebanyak 1,5%-wt, 2,5%-wt dan 3,5%-wt dan variasi ukuran agregat ringan *styrofoam* terdiri atas $1 > x \leq 2$ mm, $2 > x \leq 5$ mm dan $1 > x \leq 5$ mm.

C.3 Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa 4 tahapan utama yaitu :

C.3.1 Persiapan Bahan Baku

Fly ash batubara yang akan digunakan sebagai prekursor dikeringkan terlebih dahulu untuk menghilangkan kadar airnya, kemudian *fly ash* diayak pada ukuran 200 mesh. Pasir yang akan digunakan sebagai agregat halus juga diayak pada ukuran 30 mesh. *Fly ash* dan pasir kemudian dicampurkan hingga homogen (warna seragam).

C.3.2 Persiapan Larutan Alkali Aktivator

Untuk membuat larutan NaOH 10 M sebanyak 500 mL, diperlukan 200 gram NaOH padatan untuk dilarutkan dalam aquades hingga volume mencapai 500 mL. Kemudian larutan NaOH 10 M tersebut dicampurkan dengan larutan Na_2SiO_3 dengan rasio 2,5.

C.3.3 Penghalusan Agregat Ringan Styrofoam

Styrofoam yang akan digunakan pada penelitian ini awalnya berbentuk balok dengan berbagai ukuran. *Styrofoam* tersebut kemudian dihaluskan hingga menjadi serbuk untuk mendapatkan *styrofoam* dengan ukuran $1 > x \leq 2$ mm, $2 > x \leq 5$ mm dan $1 > x \leq 5$ mm.

C.3.4 Pembuatan Mortar Geopolimer

Pembuatan mortar geopolimer diawali dengan pencampuran semua bahan padatan yang terdiri atas *fly ash* dan pasir dengan rasio 1:3 lalu diaduk hingga

homogen (warna merata) lalu ditambahkan *styrofoam* sebanyak 1,5%-wt, 2,5%-wt dan 3,5%-wt. semua bahan padatan tersebut diaduk hingga merata lalu ditambahkan larutan alkali aktivator yang terdiri atas larutan Na_2SiO_3 dan NaOH 10 M dengan rasio 2,5 kemudian diaduk hingga bercampur homogen. Seluruh padatan yang telah homogen dicetak dengan cetakan mortar ukuran $(5 \times 5 \times 5)$ cm³. Mortar yang telah tercetak dilakukan pengeringan selama 28 hari pada suhu ruang dan dilakukan pengujian karakteristik mortar.

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

D.1 Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan dilakukan setelah 28 hari umur mortar dan pengujian dilakukan di Laboratorium Teknologi Bahan Universitas Riau. Hubungan kuat tekan mortar geopolimer terhadap ukuran *styrofoam* dan jumlah penambahan *styrofoam* dapat dilihat pada Tabel 1.

Kuat Tekan (MPa)			
Ukuran <i>Styrofoam</i> (mm)	Jumlah Penambahan <i>Styrofoam</i> (%-wt)		
	1,5	2,5	3,5
$1 > x \leq 2$	6	3,4	1,6
$2 > x \leq 5$	8,6	1,6	0,4
$1 > x \leq 5$	8,8	4,2	2,2

Tabel 1. Kuat Tekan Mortar Geopolimer Pada umur 28 hari

Pada Tabel 1 dapat diketahui bahwa ukuran *styrofoam* mempengaruhi

kuat tekan mortar geopolimer. Kuat tekan tertinggi terdapat pada ukuran *styrofoam* $1 > x \leq 5$ mm yaitu sebesar 8,8 MPa, sedangkan pada ukuran $1 > x \leq 2$ mm dan $2 > x \leq 5$ mm terjadi penurunan kuat tekan yang sangat signifikan. Hal ini karena pada ukuran *styrofoam* $1 > x \leq 5$ mm yang merupakan campuran dari ukuran *styrofoam* yang digunakan ($1 > x \leq 2$ mm dan $2 > x \leq 5$ mm) lebih kompak karena rongga – rongga yang terbentuk diantara *styrofoam* dengan matriks geopolimer terisi oleh *styrofoam* yang memiliki ukuran yang lebih kecil. Sedangkan pada ukuran $2 > x \leq 5$ mm, ukuran *styrofoam* cenderung tidak dapat mengisi rongga – rongga yang terbentuk dikarenakan ukuran *styrofoam* yang lebih besar, sehingga kuat tekan terendah terdapat pada ukuran $2 > x \leq 5$ mm pada jumlah penambahan *styrofoam* 3,5%-wt yaitu sebesar 0,4 MPa.

Menurut Sayadi et al., (2016) penyebaran partikel *styrofoam* dan penambahan *styrofoam* mempengaruhi kepadatan dari mortar geopolimer. Selain itu ukuran *styrofoam* yang terlalu besar akan mempengaruhi proses pencampuran dan juga pencetakan dari mortar geopolimer. Berdasarkan penelitian Laukaitis et al., (2005) memungkinkan untuk didapatkan kuat tekan yang lebih tinggi jika ukuran *styrofoam* lebih halus.

Selain itu kuat tekan mortar geopolimer juga dipengaruhi oleh ikatan geopolimerisasi yang terbentuk dengan agregat ringan yang ditambahkan (Temuujin et al., 2010). Penambahan pasir sebagai agregat halus dapat meningkatkan kuat tekan mortar geopolimer. Pasir dapat berfungsi sebagai *filler* didalam matriks geopolimer, dimana jika pasir berikatan dengan matriks geopolimer maka pasir dapat meningkatkan kuat tekan mortar geopolimer, serta memberikan durabilitas tinggi pada matriks geopolimer, selain itu pasir juga dapat mengontrol *workability* dari adonan geopolimer sehingga dapat mengurangi *drying cracking* (Z. Zhang et al., 2014).

Peningkatan kekuatan mortar geopolimer juga didukung dengan adanya reaksi kimia antara alumina silikat oksida dengan alkali aktivator yang menghasilkan ikatan Si-O-Al. Yip et al., (2008) menyebutkan bahwa penurunan kuat tekan berkaitan dengan adanya perubahan rasio Si/Al yang disebabkan oleh reaksi kimia antara Si dengan kandungan kalsium atau antara Al dengan kalsium untuk mencapai kesetimbangan dalam sistem.

D.3 Pengujian Porositas

Pengujian porositas dilaksanakan sesuai dengan standar ASTM C642 (2013) di Laboratorium Material Lanjut

Universitas Riau. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui persentase rongga yang terdapat pada mortar geopolimer yang telah ditambahkan *styrofoam* dengan variasi ukuran. Persentase porositas hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 3.

Porositas (%)			
Ukuran <i>Styrofoam</i> (mm)	Jumlah Penambahan <i>Styrofoam</i> (%-wt)		
	1,5	2,5	3,5
$1 > x \leq 2$	17	18	19
$2 > x \leq 5$	15	16	20
$1 > x \leq 5$	16	17	19

Tabel 3. Porositas Mortar Setelah Umur 28 Hari

Melalui Tabel 3 dapat diketahui bahwa peningkatan jumlah *styrofoam* yang ditambahkan mengakibatkan pembentukan rongga – rongga (pori) pada mortar geopolimer. Selain itu, ukuran *styrofoam* yang tidak seragam menyebabkan pembentukan pori yang semakin banyak. Pembentukan pori tersebut dapat memudahkan terjadinya keretakan pada sampel saat pengujian kuat tekan, sehingga kuat tekan yang didapatkan semakin menurun. Porositas dan kuat tekan memiliki hubungan yang signifikan, dimana peningkatan porositas akan diikuti dengan penurunan kuat tekan mortar geopolimer. Ukuran pori yang semakin kecil akan meningkatkan kuat tekan (Nguyen et al., 2019).

Mortar geopolimer yang memiliki porositas besar akan menurunkan kuat

tekan pada mortar geopolimer. Selain itu, semakin besar ukuran *styrofoam* yang ditambahkan pada campuran mortar geopolimer maka semakin sulit terbentuk mortar geopolimer yang lebih padat serta dapat menyebabkan terbentuknya rongga yang lebih besar pada matriks geopolimer.

E. KESIMPULAN DAN SARAN

E.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan :

1. pembuatan geopolimer ringan berbasis *fly ash* batubara dengan penambahan *styrofoam* sebagai agregat ringan telah berhasil dilakukan. Penambahan *styrofoam* ini mempengaruhi sifat mekanis pada mortar geopolimer.
2. Kuat tekan dan densitas mortar geopolimer dengan penambahan *styrofoam* semakin menurun seiring dengan meningkatnya jumlah *styrofoam* yang ditambahkan. Kuat tekan tertinggi sebesar 8,8 MPa pada ukuran *styrofoam* $1 > x \leq 5$ mm dengan 1,5%-wt *styrofoam*. Densitas terendah sebesar 936,18 kg/m³ pada 3,5%-wt *styrofoam* ukuran $2 > x \leq 5$ mm.

E.2 Saran

Saran yang dapat diberikan berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Pada pembuatan geopolimer ringan dengan penambahan *styrofoam* menggunakan adonan campuran yang lebih cair lebih baik (meningkatkan jumlah cairan alkali aktivator), agar *styrofoam* lebih terikat pada prekursor dan memudahkan dalam proses pencetakan
2. Pencampuran bahan padatan diusahakan untuk dicampurkan dan diaduk secara bersamaan agar *fly ash* dapat maksimal mengikat seluruh bahan padatan yang ditambahkan.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM, C 642-13. (2013). Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete. *ASTM International*. West Conshohocken. PA
- Davidovits, P. J. (2002). 30 years of successes and failures in geopolimer applications . market trends and potential breakthroughs. *Geopolymers Conference*, 1–16
- Duxson, P. (2009). Geopolimer precursor design. In *Geopolymers: Structures, Processing, Properties and Industrial Applications*.
- Ferrándiz-Mas, V., Bond, T., García-Alcoce, E., & Cheeseman, C. R. (2014). Lightweight mortars containing expanded polystyrene and paper sludge ash.
- Ferrándiz-Mas, V., & García-Alcoce, E. (2012). Caracterización física y mecánica de morteros de cemento Portland fabricados con adición de partículas de poliestireno expandido (EPS). *Materiales de Construcción*, 62(308), 547–566.
- Giasuddin, H. M., Sanjayan, J. G., & Ranjith, P. G. (2013). Strength of geopolimer cured in saline water in ambient conditions. *Fuel*, 107, 34–39.
- Joseph, B., & Mathew, G. (2012). Influence of aggregate content on the behavior of fly ash based geopolimer concrete. *Scientia Iranica*, 19(5), 1188–1194.
- Laukaitis, A., Žurauskas, R., & Keriene, J. (2005). The effect of foam polystyrene granules on cement composite properties. *Cement and Concrete Composites*, 27(1), 41–47.
- Lloyd, N. A., & Rangan, B. V. (2017). Geopolimer Concrete with Fly Ash. *Proceedings of Second International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies*. 215-220.
- Nguyen, T. T., Bui, H. H., Ngo, T. D., Nguyen, G. D., Kreher, M. U., & Darve, F. (2019). A micromechanical investigation for the effects of pore size and its distribution on geopolimer foam concrete under uniaxial compression. *Engineering Fracture Mechanics*, 209, 228–244.
- Osio-norgaard, J., Gevaudan, J. P., & Iii, W. V. S. (2018). A review of chloride transport in alkali-activated cement paste, mortar, and concrete. *Construction and Building Materials*, 186, 191–206.

- Peacock, A. J., & Calhoun, A. . R. (2006). 21 21.1 Polystyrene. In *polymer chemistry* (pp. 309–323).
- Sayadi, A. A., Tapia, J. V., Neitzert, T. R., & Clifton, G. C. (2016). Effects of expanded polystyrene (EPS) particles on fire resistance, thermal conductivity and compressive strength of foamed concrete. *Construction and Building Materials*, *112*, 716–724.
- Temuujin, J., Van Riessen, A., & MacKenzie, K. J. D. (2010). Preparation and characterisation of fly ash based geopolymer mortars. *Construction and Building Materials*, *24*(10), 1906–1910.
- Yip, C. K., Lukey, G. C., Provis, J. L., & van Deventer, J. S. J. (2008). Effect of calcium silicate sources on geopolymerisation. *Cement and Concrete Research*, *38*(4), 554–564.
- Zhang, Z., Provis, J. L., Reid, A., & Wang, H. (2014). Cement and Concrete Research Fly ash-based geopolymers: The relationship between composition, pore structure and ef fl orescence. *Cement and Concrete Research*, *64*, 30–41.