

# Pengaruh Konsentrasi dan Rasio Berat Grafena Pada Geopolimer Berbasis Limbah *Fly Ash* Pabrik Kelapa Sawit dengan Aktivator KOH

Muhammad Eri Malindo<sup>1</sup>, Amun Amri<sup>2</sup>, Zultiniar<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Program Studi Teknik Kimia, <sup>2</sup>Dosen Jurusan Teknik Kimia,  
Laboratorium Dasar Proses dan Operasi Pabrik  
Program Studi Sarjana Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Riau  
Kampus Bina Widya Jl. HR. Soebrantas Km. 12,5 Simpang Baru, Panam,  
Pekanbaru 28293  
Email : muhammaderimalindo12@gmail.com

## ABSTRACT

*Geopolimer is a synthesis of organic polymers with high concentrated alkaline activator reacting with SiO<sub>2</sub> and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> in fly ash. Geopolimer can reduce the use of OPC and reducing solid waste (fly ash) the result of burning oil palm shells in the industry's oleokimia at Riau Province. This research aims to make the fly ash-based factory geopolimer palm oil is obtained from PT. Bangun Tenera Riau (PT. BTR) with the addition of graphene as a filler and determine the influence of the concentration of graphene and graphene weight ratio against the compressive strength, porosity, and morphological properties of geopolimer. The making of geopolimer include the preparation of fly ash and sand and then continued with the creation of alkaline activator (KOH + sodium silicate) with variation concentration of graphene 10 mg/ml, 20 mg/ml, 30 mg/ml, as well as the weight ratio of graphene 0 %wt, 0.1 %wt, 0.4 %wt, and 0.7 %wt. Raman Spectroscopy Analysis of graphene shows graphene produced during the process turbulence assisted shear exfoliation (TASE) is a few layer graphene (FLG). XRD analysis showed the highest intensity of graphene on geopolimer is 1849.26 cts on 25.4112 °. The SEM analysis showed the increasing graphene, closer the structure of geopolymer. The value of compressive strength in addition concentrations of graphene 30 mg/ml and weight ratio of graphene 0.7 wt% i.e. 10.8 MPa with an increasing compressive strength 74.19%. The value of the lowest porosity on the concentration of graphene 30 mg/ml and weight ratio of graphene 0.7% i.e. 5.92%.*

**Keywords :** fly ash, geopolimer, graphene, OPC, TASE

## 1. PENDAHULUAN

Beton merupakan salah satu unsur penting dalam bidang konstruksi. Permasalahan yang ada selama ini adalah beton terbuat dari semen konvensional yang memiliki beberapa kelemahan utama, yaitu konsumsi energi yang tinggi dan gas CO<sub>2</sub> yang sangat merugikan bagi lingkungan. Diperkirakan 5% gas CO<sub>2</sub> yang menyebabkan kerusakan pada lingkungan berasal dari industri semen konvensional (*Ordinary Portland Cement*) (Fan dkk, 2017). Berkaitan dengan kelemahan produksi semen

konvensional, maka perlu dipikirkan bahan lain yang lebih bersifat ramah lingkungan dan memenuhi syarat syarat khusus untuk berbagai aplikasi. Geopolimer merupakan salah satu alternatif jawaban yang menjanjikan. Geopolimer adalah perekat jenis baru pengganti semen konvensional yang merupakan hasil aktivasi senyawa alumina silika dari berbagai material, termasuk abu terbang (*fly ash*) dari boiler pada perusahaan sawit. Geopolimer memiliki ketahanan yang sangat baik terhadap senyawa asam, ketahanan terhadap api, dan tidak memerlukan

energi yang tinggi dalam proses pembuatan (Ruiz dkk, 2017). Biaya yang dibutuhkan dalam produksi geopolimer dapat dikategorikan rendah, hal ini karena bahan material yang dibutuhkan berasal dari hasil limbah padat industri, seperti *fly ash*, *rice husk ash*, dan *furnace slag*. Sifat – sifat yang ada pada geopolimer tersebut sangat menjanjikan untuk menjadi material yang ramah lingkungan atau *green material* (Fan dkk, 2017).

*Fly ash* dapat digunakan sebagai material geopolimer dikarenakan *fly ash* banyak mengandung silika dan alumina yang dapat bereaksi dengan cairan aktivator alkali untuk menghasilkan bahan pengikat yang ramah lingkungan (Septia dkk, 2011). *Fly ash* batu bara merupakan bahan baku yang saat ini banyak digunakan dalam memproduksi geopolimer. Hal ini dikarenakan *fly ash* batu bara merupakan limbah dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) dan merupakan *fly ash* tipe C. Kelemahan dari produksi geopolimer ini adalah masih adanya kandungan logam berat (Zn, Na, Cd, Pb, Cu, Fe, Cr) (Ruiz dkk, 2017). Berdasarkan peraturan pemerintah nomor 85 tahun 1999 tentang Pengolahan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun, *fly ash* jenis ini termasuk kedalam limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun).

Peneliti akan melakukan inovasi dengan mensintesis geopolimer yang berbasis *fly ash* dari limbah pabrik kelapa sawit. *Fly ash* dari hasil pembakaran kelapa sawit digunakan karena *fly ash* jenis ini sangat banyak di Riau dan hanya terbuang begitu saja. Kandungan dari *fly ash* kelapa sawit tidak berbahaya bagi lingkungan, karena terdiri dari silika,  $Al_2O_3$ , CaO, dan  $Fe_2O_3$ . Kelemahan dari *fly ash* pembakaran kelapa sawit adalah diperkirakan bahwa kekuatan geopolimer yang dihasilkan lebih rendah (Ruiz dkk, 2017). Hal ini dikarenakan *fly ash* ini

termasuk ke dalam *fly ash* tipe F (kandungan CaO kurang dari 10%).

Peneliti melakukan modifikasi geopolimer *fly ash* limbah kelapa sawit dengan penambahan *grafena* sebagai *filler* untuk peningkatan nilai kuat tekan, perbaikan terhadap porositas dengan tujuan dapat menutupi kelemahan geopolimer yang dihasilkan dari penelitian sebelumnya.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Bahan baku

Bahan yang digunakan dalam pembuatan geopolimer meliputi *fly ash* dari pabrik kelapa sawit, kalium hidroksida KOH (*Merck Chemical* Indonesia), sodium silikat  $Na_2SiO_3$  (*Merck Chemical* Indonesia), pasir halus (berwarna putih) dan aquades, serpihan *graphite* (200 mesh) dari pensil 2B, *surfaktan*.

### 2.2 Peralatan yang digunakan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini berupa gelas piala, gelas ukur, pipet tetes, wadah percampuran pembuatan geopolimer, aluminium foil, cetakan mortar dengan ukuran ( 50 x 50 x 50 ) mm, dan blender *Kenwood BL370*. Peralatan atau instrumen untuk karakterisasi antara lain *Scanning Electron Microscopy* (SEM), Raman *spectroscopy*, Raman *mapping*, XRD (*X-Ray Diffraction*). Pengujian terhadap mortar dilakukan untuk pengujian Kuat Tekan, Porositas.

### 2.3 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari variabel tetap dan variabel bebas. Variabel tetap pada penelitian ini yaitu komposisi dari geopolimer yang terdiri atas 72-wt.% *fly ash* dan pasir, 20-wt.% sodium silikat dan 8-wt.% KOH. Rasio *fly ash* dan pasir adalah 1 :3 (Saafi dkk, 2014). Ukuran partikel *fly ash* 200 mesh dan pasir 12 mesh. Sedangkan variabel bebas pada penelitian ini adalah variasi penambahan *grafena* (G) 0 % wt, 0,1 % wt, 0,4% wt dan 0,7 %wt dari

massa total cairan pada geopolimer dan variasi konsentrasi *grafena* 10 mg/ml, 20 mg/ml, dan 30 mg/ml.

## 2.4 Prosedur Penelitian

Penelitian ini melalui beberapa tahapan dalam pengerjaannya, yaitu :

### 1. Pembuatan Larutan *Grafena*

*Grafena* dibuat dengan metode *Turbulence Assisted Shear Exfoliation* (TASE). Pada proses TASE ini menggunakan larutan surfaktan jenis *fairy liquid* (FL) 1,25 gr dengan konsentrasi 2,5 mg/ml dan penambahan aquades sampai volume total 500 ml. Pada proses pengelupasan (*exfoliation*) untuk konsentrasi 20 mg/ml, serpihan *graphite* yang berasal dari isi pensil 2B diayak 200 *mesh* yang kemudian ditimbang sebanyak 10 gram kemudian dicampur *fairy liquid* dan aquades yang kemudian akan diproses di dalam *kitchen blender*. Blender dioperasikan pada kecepatan maksimal dengan lama pengoperasian yaitu 60 menit. Untuk menjaga kondisi proses di dalam blender maka untuk pengoperasian yaitu 1 menit *on* dan 1 menit *off* supaya blender tidak panas. Setelah pengelupasan kulit *graphite* selesai, *grafena* yang dihasilkan kemudian didiamkan sampai buih didalam tabung menghilang. Prosedur yang sama digunakan pada konsentrasi *grafena* 30 mg/ml dengan penambahan *surfaktan* masing- masing sebesar 1,875 gr, tetapi untuk konsentrasi 10 mg/ml didapat melalui pengenceran konsentrasi 20 mg/ml. *Grafena* TASE kemudian dikarakterisasi dan siap digunakan dalam penelitian (Varrla dkk., 2014).

### 2. Pembuatan Larutan Aktivator Alkali

KOH 10M dipersiapkan dengan melarutkan KOH padat menggunakan aquades (Lampiran A) yang kemudian digunakan untuk melarutkan sodium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) serta mereaksikan silika dan alumina dalam dalam *fly ash*.

### 3. Pembuatan Geopolimer

Pembuatan geopolimer diawali dengan mempersiapkan larutan aktivator alkali terlebih dahulu. Proses pencampuran mortar dilakukan secara manual dengan urutan pencampuran yaitu pengadukan abu sawit dan pasir kemudian dilanjutkan dengan penambahan larutan aktivator alkali. Sodium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) dilarutkan terlebih dahulu ke dalam larutan KOH 10M, kemudian ditambahkan *filler grafena* dan larutan tersebut didiamkan menggunakan *sonicator* selama 1 jam. Pasir dan *fly ash* dicampur secara merata dengan ditandai adanya perubahan warna yang merata. Larutan yang telah didiamkan 1 jam di campur dengan *fly ash* dan pasir yang telah tercampur merata. Setelah selesai di campur material tersebut kemudian dimasukkan kedalam cetakan mortar dengan ukuran (50 x 50 x 50) mm. Kemudian adonan dipadatkan agar campuran mengisi seluruh cetakan dengan cara setiap lapisan diberi tekanan 10 kali untuk setiap sudut cetakan dan dibagian tengah cetakan dengan jumlah lapisan sebanyak 6 lapisan. Cetakan ditutup rapat kemudian dioven dengan suhu 60°C selama 24 jam. Setelah 24 jam adonan mengeras dan dilepas dari cetakan dan dimasukkan dalam tempat penempatan sampel yang kemudian dibiarkan dalam suhu kamar sampai tiba waktu pengetesan (28 hari). Kemudian mortar geopolimer tersebut diuji kuat tekan serta analisa morfologi dan karakteristik bentuk dari geopolimer-*grafena*.

### 4. Analisa Sampel

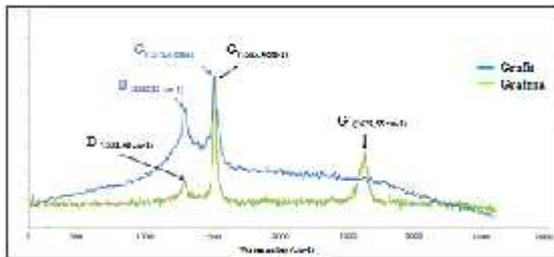
Uji karakterisasi yang dilakukan pada *grafena* adalah Raman Spektrosfotocopy dan Raman Mapping di Universitas Putra Malaysia (UPM). Pengujian sifat fisik geopolimer meliputi uji kuat tekan dan porositas di Fakultas Teknik Universitas Riau. Adapun parameter yang akan dianalisa

adalah uji morfologi (SEM) di Universitas Diponegoro (UNDIP), X-Ray Diffraction di Universitas Negeri Padang (UNP), Komposisi *Fly Ash* di Balai Riset dan Standarisasi Padang (BARISTAND).

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Raman Spektroskopi

Spektroskopi Raman digunakan untuk melihat kualitas *grafena* dan jumlah lapisan *grafena* yang dihasilkan. Gambar 3.1 merupakan spektra Raman dari sampel yang dihasilkan dari proses *Turbulence-assisted Shear Exfoliation* (TASE) *graphite* dan spectra *graphite* mula-mula sebagai pembanding. Pada spektrum Raman dari sampel yang diproduksi dengan proses TASE, terlihat muncul 3 puncak utama yaitu band G, band G' dan band D. Kehadiran band G dan band G' ini bersesuaian dengan puncak-puncak yang muncul pada *grafena* pada panjang gelombang eksitasi 532 nm (Xu dkk, 2017; Malard dkk, 2009). Pada *graphite* hanya muncul band G dan D saja, dengan band G' yang tidak signifikan.



**Gambar 3.1** Raman Spektra dari Sampel yang disintesa Dengan Proses TASE dan Spectra *Graphite* Sebelum Proses TASE.

Pada gambar 3.1 terlihat band G muncul pada panjang gelombang 1583,4  $\text{cm}^{-1}$ . Menurut Xu dkk (2017), pada *grafena single layer*, band G muncul pada panjang gelombang 1582  $\text{cm}^{-1}$ . Band G' berasal dari “*double resonance*” atau resonansi ganda yang cukup sensitif terhadap getaran dan properti elektron

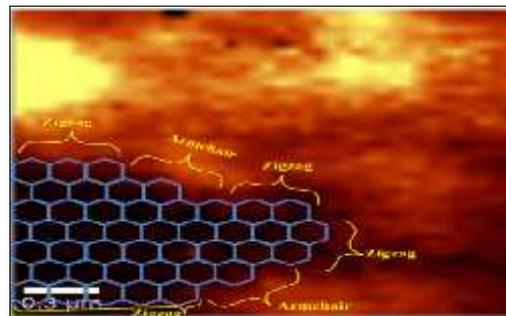
dari *grafena* (Malard dkk, 2009). Band G' pada gambar 4.1 terlihat pada panjang gelombang 2679,55  $\text{cm}^{-1}$ . Menurut Wall (2011), pada *grafena single layer*, band G' muncul pada panjang gelombang 2680  $\text{cm}^{-1}$ . Secara kuantitatif jumlah layer (n) bisa dihitung menggunakan persamaan (Wall, 2011) :

$$G = 1581,6 + 11 / (1 + n^{1,6})$$

Posisi band G sampel pada spektrum raman pada  $G = 1583,4 \text{ cm}^{-1}$ , maka didapatkan jumlah layer pada *grafena* adalah 2,77 layer atau dibulatkan menjadi 3 layer. Band D pada spectra Raman penelitian ini menunjukkan adanya kecacatan pada *grafena* (Gambar 3.1). Pada Gambar 4.1 band D muncul pada panjang gelombang 1353,46  $\text{cm}^{-1}$ . Secara teoritis, Band D muncul pada 1350  $\text{cm}^{-1}$  pada spektrum *grafena*. Hal ini karena *graphite* yang dipakai adalah *graphite* pensil. Selama proses pembentukan pensil, *graphite* murni dan tanah liat dirubah menjadi bentuk bubuk yang kemudian diberi air, dianginkan, dan kemudian dibakar selama tiga hari untuk membentuk pensil yang kuat. Proses tersebut dapat menyebabkan terjadinya modifikasi kimia.

#### Raman Mapping

*Mapping* raman merupakan penggambaran permukaan sampel secara dua dimensi (2D) menggunakan beberapa titik pada hasil spektroskopi Raman yang dijadikan sebagai titik acuan.



**Gambar 3.2** Analisa *Mapping* Raman Sampel *Grafena*

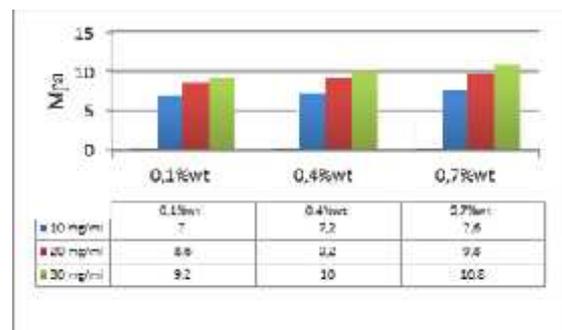
Hasil *mapping* raman yang dilakukan terhadap sampel grafena yang dibuat menggunakan proses TASE diperlihatkan pada gambar 3.2. Hasil *mapping* menunjukkan terdapat dua struktur yang terbentuk. Pada struktur *armchair* terdeteksi lebih dominan band D, semakin banyak struktur *armchair* maka semakin besar kecacatan yang ada pada *grafena* (Malard dkk, 2009; Widjaja dkk, 2016). Semakin banyak struktur *zigzag*, maka semakin baik kualitas *grafena* yang dihasilkan. Struktur *zigzag* lebih dominan dari *armchair* seperti yang telah dipetakan pada Gambar 3.2. Hal ini dapat dijelaskan dengan menghubungkan antara Gambar 3.2 dengan data hasil spektrum Raman grafena yang ada pada Gambar 4.1 untuk *grafena*.

### Hasil Uji Kuat Tekan

Secara umum penambahan *grafena* memperbesar nilai kapasitas kompresi tekanan pada sampel geopolimer. Peningkatan kuat tekan tertinggi pada Gambar 3.3 terlihat pada komposit geopolimer-*grafena* yang ditambahkan 0,7%wt *grafena* dengan konsentrasi 30 mg/ml yakni 10,8 MPa. Bila dibandingkan dengan geopolimer tanpa *grafena* (6,2 MPa), maka terjadi peningkatan kuat tekan 74,19%. Hasil ini lebih baik dari penelitian yang dilakukan Saafi dkk (2014) yang menggunakan *reduced graphene oxide* (rGO) dengan peningkatan kuat tekan 69,52%.

Tepi-tepi FLG, baik struktur *zigzag* maupun *armchair* yang mengandung gugus  $\text{CH}_3$  berinteraksi dengan mekanisme *Van Der Waals* dengan matrik geopolimer (Si-O-Al) melalui ikatan sekunder sehingga FLG dapat terikat kuat dalam matrik. Peningkatan kuat tekan geopolimer setelah penambahan FLG lebih disebabkan oleh adanya sifat kekuatan mekanis dan elastisitas dari FLG yang mengabsorpsi tekanan yang diterimanya sampai pada batas tertentu sebelum terjadi *crack* pada

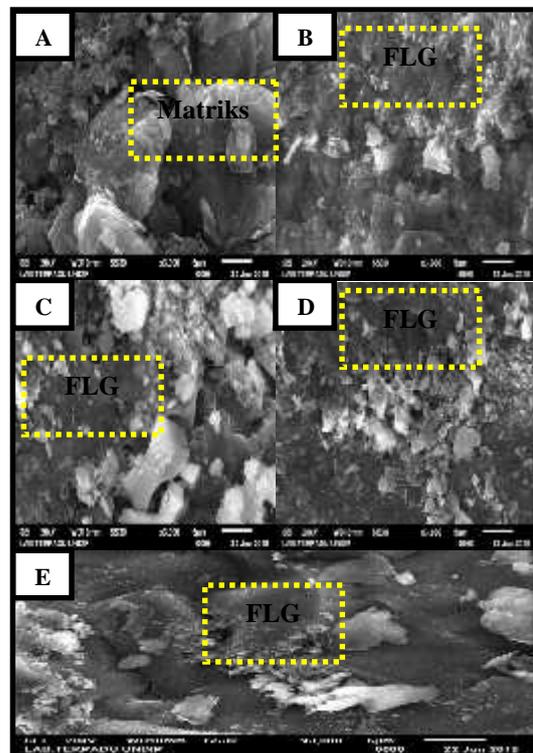
matrik geopolimer dan kemudian tekanan yang diterima oleh FLG akan didistribusikan ke segala arah bidang matriks yang menyebabkan kapasitas kompresi geopolimer mengalami peningkatan (Ranjhbar dkk, 2015). Peningkatan kuat tekan pada geopolimer diperlihatkan pada gambar 3.3.



**Gambar 3.3** Kuat Tekan Geopolimer Pada Variasi Rasio Berat *Grafena*

### Hasil Uji SEM Geopolimer

Gambar 3.4 menunjukkan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dengan berbagai variasi penambahan *grafena*, sampel tanpa *grafena* juga ditunjukkan sebagai sampel pembandingan.



**Gambar 3.4** Hasil Analisa SEM ;  
(a) 0%wt FLG,

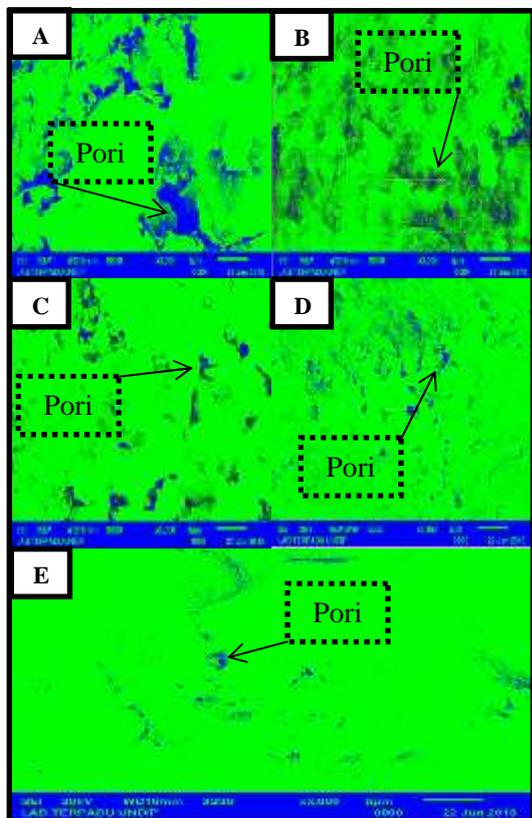
(b) 0,1%wt FLG 10 mg/ml, (c) 0,7%wt FLG 30 mg/ml, (d) 0,1%wt FLG 30 mg/ml, (e) 0,7% FLG 30 mg/ml

(b) 0,1%wt FLG 10 mg/ml, (c) 0,7%wt FLG 30 mg/ml, (d) 0,1%wt FLG 30 mg/ml, (e) 0,7% FLG 30 mg/ml

Dari gambar terlihat secara umum penambahan *grafena* memiliki kesan penampakan yang berbeda dengan tanpa penambahan *grafena*. Hal ini terlihat jelas dengan semakin tinggi konsentrasi dan rasio berat *grafena* maka kesan penampakan penutupan permukaan matriks semakin nyata, sedangkan geopolimer tanpa *grafena* memperlihatkan struktur yang tidak cukup padat dan banyak celah celah yang dapat menyebabkan keretakan.

**Hasil Analisa ImageJ**

Analisa hasil SEM lebih lanjut menggunakan aplikasi imageJ versi 1.51j8 dapat memperlihatkan ukuran pori. Hasil dari analisa menggunakan imageJ sebagai berikut :



**Gambar 3.5** Analisa SEM Menggunakan Aplikasi ImageJ ; (a) 0% wt

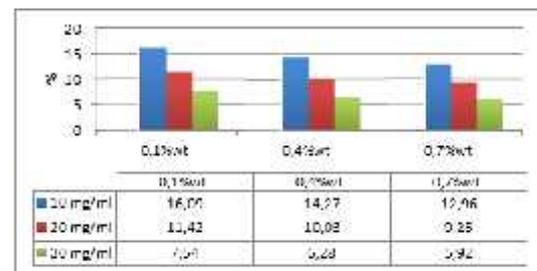
**Tabel 3.1** Ukuran Pori Pada Sampel Geopolimer Menggunakan Aplikasi ImageJ

Sampel	Ukuran Rata-rata Pori (µm)	Area (%)	Feret X (µm)	Feret Y (µm)	Min Feret (µm)	Solidarity (%)
0%wt (sampel geopolimer)	3012	11	43590	30840	1316	70,2
0,1%wt G 10 mg/ml	2930	8	45470	25630	1369	70,5
0,7%wt G 30 mg/ml	2739	3	42830	24730	1412	63,4
0,7%wt G 10 mg/ml	2628	2	40820	21530	1417	63,8
0,7%wt G 30 mg/ml	2294	1	38220	18930	1511	64,7

Ukuran pori terkecil terdapat pada penambahan *grafena* 0,7% wt G 30 mg/ml dengan 1% area yang berpori. *Grafena* juga mempengaruhi kepadatan dari matriks yang dihasilkan, pada tanpa penambahan *grafena* kepadatan bernilai 70,2 %, dan meningkat sebesar 4,5% pada penambahan *grafena* 0,7% wt G 30 mg/ml. Peningkatan kepadatan ini disebabkan adanya ikatan sekunder yang menyebabkan *grafena* dapat terikat baik pada matriks geopolimer.

**Hasil Analisa Porositas**

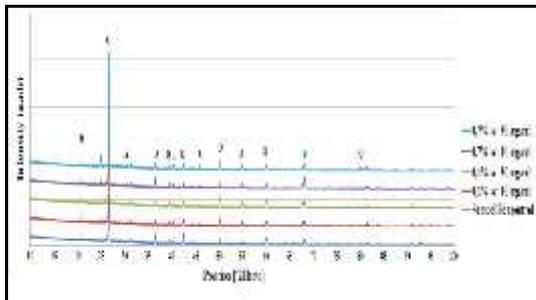
Gambar 3.6 memperlihatkan nilai porositas yang semakin mengecil pada variasi berat penambahan *grafena* yang diberikan, hal ini menyebabkan geopolimer menjadi semakin padat pada penambahan jumlah *grafena* yang semakin besar. *Grafena* yang ditambahkan dapat mengisi pori sehingga akan membuat geopolimer semakin padat seperti terlihat pada hasil analisa SEM.



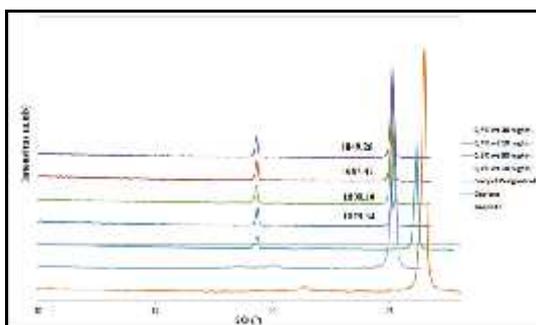
**Gambar 3.6** Hasil Uji Porositas Geopolimer

### Hasil Analisa XRD

Gambar 3.7 memperlihatkan pola XRD dari masing-masing sampel geopolimer. Puncak difraksi tertinggi pada  $27,6^\circ$  pada setiap hasil analisa XRD. Hal ini menandakan bahwa telah terbentuk berupa fasa kristal dari Si-O yang dilambangkan dengan *quartz* (Q). Dimana *quartz* merupakan bentuk mineral utama dari semi kristal silika ( $\text{SiO}_2$ ). Serta pada masing-masing gambar juga terbentuk beberapa kristal *albite* (A) pada puncak difraksi  $31,4^\circ$ . Dimana *albite* merupakan bentuk mineral dari silika alumina (Ranjhbar dkk., 2015). Terbentuknya kristal-kristal tersebut membuktikan bahwa telah terbentuknya ikatan polimer Si-O-Al. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya bahwa kristal *quartz* dan *albite* terbentuk pada puncak difraksi  $27,6^\circ$  dan  $31,4^\circ$  (Ranjhbar dkk., 2015). Selain terbentuknya ikatan polimer Si-O-Al yang dilambangkan dalam bentuk Kristal *quartz* dan *albite*, *grafena* juga terbentuk pada puncak difraksi  $25,411^\circ$  seperti pada Gambar 3.8 (lie, 2016).



**Gambar 3.7** Hasil Analisa X-Ray Difrraction (XRD) Sampel Geopolimer



**Gambar 3.8** Grafik Puncak *Grafena* Sampel Geopolimer

Gambar 3.8 juga memperlihatkan perbandingan antara puncak *graphite* dan *grafena*. Puncak *graphite* terbentuk pada  $28,12^\circ$ , sedangkan puncak *grafena* pada  $25,83^\circ$  (Johra dkk, 2013). Hal ini menandakan bahwa pada sampel geopolimer, *filler* yang digunakan telah murni *grafena*. Rahman dkk (2016) menyatakan bahwa *grafena oksida* (GO) muncul pada puncak  $11,32^\circ$ . Pada Gambar 4.13 dan Gambar 3.8 tidak terdapat puncak pada  $10^\circ$  sampai  $15^\circ$ , hal ini semakin memperjelas bahwa *filler* yang terdapat dalam matriks geopolimer murni *grafena*.

### 4. Kesimpulan

1. *Fly ash* pabrik kelapa sawit dapat digunakan sebagai prekursor pada pembuatan geopolimer dengan menggunakan KOH sebagai aktivator dan *grafena* telah berhasil dibuat menggunakan metode *Turbulance Assisted Shear Exfoliation* (TASE) dengan hasil 3 layer *grafena* atau *few layer grafena* (FLG).
2. Peningkatan kuat tekan (MPa) tertinggi terdapat pada rasio berat *grafena* 0,7% wt dan konsentrasi *grafena* 30 mg/ml dengan peningkatan nilai kuat tekan dari 6,2 MPa menjadi 10,8 MPa atau meningkat sebesar 74,19%.
3. Penurunan porositas (%) tertinggi terdapat pada rasio berat *grafena* 0,7% wt dan konsentrasi *grafena* 30 mg/ml dengan penurunan nilai porostias dari 18,95% menjadi 5,92% atau mengalami penurunan sebesar 13,03%.

### Daftar Pustaka

Fan, F., Liu., Xu, H., dan Peng, C., (2017), "Mechanical and Thermal Properties of Fly-ash Based Geopolymers", Construction and Building Material, Elsevier, DOI:10.1016/j.conbuildm at.2017.11.023, 160 : 67-79.

- Malard, L.M., Pimenta, M.A., dan Dresselhaus, G., (2009), "Raman Spectroscopy in Graphene", Elsevier, DOI:10.1016/j.physrep.2009.02.003, : 51-87.
- Rahman, M. M., Zhong, T.J., Chun, Y.Y., Lee, S.C., Hooi, L.L., Amun, A., Bee, M.G., Barry, J.W., Chris, C., Nicholas, M., Mohammednoor, A., Bogdan, Z.D., (2016), "Structural Thermal Stability of Graphene Oxide-Doped Copper-Cobalt Oxide Coating as a Solar Selective Surface". Elsevier, 32 (2016) : 1179 – 1191.
- Ranjbar, N., Mehdi, M.M., Mehrali, U.J., Alengaram., dan Zamin ., (2015). "Graphene Nanoplatelet-fly ash Based Geopolymer Composites", Cement and Concrete Research, Dev., 76 : 222–231.
- Ruiz, S., Valentine, A.G., Borrego, A., Bouzinos, D., Flores, S., Kalaitzidis, M., Maliconico, M., Marques, M., Kennan, G., Predeanu, J., Montes, S., Rodrigues, G., Siavalas, N., dan Wagner., (2017), "Development of a petrographic classification of fly-ash components from coal combustion and co-combustion", International Journal of Coal Geology, DOI: 10.1016/j.coal.2017.06.004, hal. 1101-1112.
- Saafi, M.L., Tang, J., Fung, M., Rahman, F., Sillars, J., Liggat., dan Zhou., (2014), "Graphene/fly ash geopolymeric composites as self-sensing structural materials", Smart Mater, Dev., 23 : 065-006.
- Septia, P., (2011), "Studi Literatur Pengaruh Konsentrasi NaOH dan Rasio NaOH:Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>, Rasio Air/Prekursor, Temperatur Curing, Dan Jenis Prekursor Terhadap Kuat Tekan Beton Geopolimer", *Skripsi*, Universitas Indonesia, Jakarta, Indonesia.
- Varrla, E., Keith, R.P., Claudia, B., Andrew, H., Ronan, J.S., Joe, M., dan Jonathan, N.C., (2014), "Turbulence-assisted Shear Exfoliation of Graphene Using Household Detergent And a Kitchen Blender", Nanoscale, DOI:10.1039/C4NR03560G.
- Wall, M., (2011), "The Raman Spectroscopy of Graphene and The Determination of Layer Thickness", Thermo Fischer Scientific, hal. 1-5.
- Widjaja, H., Zhong, T.J., Mohammednoor, A., Chun, Y.Y., Bee, M.G., Nicholas, M., Amun, A., Bogdan, Z.D., (2016). "Double-sided F and Cl Adsorption On Graphene At Various Atomic Ratios : Geometric, Orientations and Electronic Structure Aspects". Elsevier, 373 (2016) : 65-72.
- Xu, H., dan Van, D., (1999), "The Geopolymerisation of Alumino-Silicate Minerals", Elsevier, Dev., 59 : 247-266.