

Geopolimer Berbasis Abu Terbang (*Fly Ash*) Boiler Pabrik Pulp dengan Penambahan Grafena Oksida

Setiani Br Manurung¹⁾, Amun Amri²⁾, Syamsu Herman²⁾

¹⁾ Mahasiswa Program Studi S1 Teknik Kimia, ²⁾ Dosen Jurusan Teknik Kimia
Laboratorium Material dan Korosi, Laboratorium Bahan Alam dan Mineral
Program Studi S1 Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Riau
Kampus Bina Widya Jl. HR Soebrantas Km. 12,5 Simpang Baru, Panam,
Pekanbaru 28293
Email: setiani_manurung@yahoo.com

ABSTRACT

Geopolymer has been successfully synthesized from boiler fly ash with the addition of Graphene Oxide (GO). The addition of graphene oxide is to enhance the mechanical properties of organic fly ash based geopolymer. Graphene oxide was made by using graphite from used batteries via Hummer method. The resulting graphene oxide solution was mixed with an alkaline activator solution (NaOH and Na₂Si₂O₃) and stirred with a mixture of fly ash and sand. Once homogeneous, it was then poured into the mold and heat treated at temperature 90°C for 24 hours. A compressive strength test was performed using material testing equipment. The experiment results showed that the compressive strength of geopolymer with addition of GO was increase 44,67% in comparison with the geopolymer without GO. This results is very exciting to upgrade the quality of organic fly ash based geopolymer to reduce the use of conventional cement due to of high carbon emission/pollutant of conventional cement. In addition, this research can also reduce the abundant fly ash waste and overcome the accumulation of used batteries.

Keywords: *compressive strength, geopolymer, graphene oxide, hammer, fly ash*

1. Pendahuluan

Beton dikenal sebagai material bangunan paling populer, yang tersusun dari komposisi utama batuan (agregat), semen *portland* dan air atau yang biasa disebut dengan beton konvensional. Beton menjadi material yang sangat penting dan banyak digunakan untuk membangun berbagai infrastruktur. Konsumsi dunia untuk beton sekitar 8,8 juta ton setiap tahun, dan

kebutuhan material ini akan meningkat dari tahun ke tahun sejalan dengan meningkatnya kebutuhan sarana dan prasarana dasar manusia (Metha, 1997 dalam Manuahe dkk, 2014). Akhir-akhir ini, semen *portland* sering mendapatkan kritik terkait emisi gas rumah kaca (karbon dioksida) yang dihasilkan pada proses produksi semen. Untuk mengatasi efek buruk yang merusak lingkungan dan

memperbaiki problem durabilitas pada material beton yang menggunakan semen *portland*, maka diperlukan material lainnya sebagai pengganti semen *portland* untuk digunakan pada pembuatan beton. Prof. Joseph Davidovits menamakan temuannya *geopolymer* karena merupakan sintesa bahan-bahan alam anorganik melalui proses polimerisasi. Bahan dasar utama yang diperlukan untuk pembuatan material geopolimer adalah bahan yang banyak mengandung unsur silika dan alumina. Unsur-unsur ini banyak didapati, di antaranya pada material hasil sampingan industri, yaitu *fly ash* (abu terbang) (Manuaha dkk, 2014). Dalam penelitian ini digunakan *fly ash* dari *boiler* pabrik *pulp*. Penelitian ini bertujuan mensintesa geopolimer berbasis *fly ash* dari kulit kayu pabrik *pulp*. *Fly ash* akan direaksikan secara kimia dengan cairan alkalin untuk membentuk material campuran yang memiliki sifat seperti semen. Selain itu, ditambahkan juga grafena oksida (GO) sebagai *filler*. Penambahan GO diharapkan dapat meningkatkan kuat tekan geopolimer yang dihasilkan. Grafena oksida (GO) merupakan senyawa turunan grafena yang terbentuk dari grafit yang teroksidasi. Grafena memiliki tingkat kekuatan melebihi baja dengan elastisitas yang tinggi.

Penelitian ini bertujuan mensintesa geopolimer berbasis *fly ash* dari kulit kayu pabrik *pulp*. *Fly ash* akan direaksikan secara kimia dengan cairan alkalin untuk membentuk material campuran yang memiliki sifat seperti semen. Selain itu, ditambahkan juga grafena oksida (GO) sebagai *filler*. Penambahan GO diharapkan dapat meningkatkan kuat tekan geopolimer

yang dihasilkan. Grafena oksida (GO) merupakan senyawa turunan grafena yang terbentuk dari grafit yang teroksidasi. Grafena memiliki tingkat kekuatan melebihi baja dengan elastisitas yang tinggi.

2. Metode Penelitian

2.1 Bahan yang digunakan

Bahan-bahan yang digunakan adalah abu terbang (*fly ash*), pasir, NaOH, Na₂SiO₃, Aquades, grafit (dari baterai bekas), H₂SO₄ 98%, NaNO₃, KMnO₄ dan H₂O₂.

2.2 Alat yang digunakan

Alat-alat yang digunakan adalah Alat yang digunakan, yaitu: *beaker glass* (50 ml, 500 ml), gelas ukur (5 ml, 50 ml), labu ukur 100 ml, erlenmeyer, pipet tetes, penggerus, *aluminium foil*, neraca analitis, *hot plate*, *sonicator*, *furnace*, *magnetic stirrer*, *ice bath*, kertas saring, indikator pH, corong kaca, oven, pengaduk, baskom/ember, ayakan (10, 50, 100, 200 mesh), sendok, penggaris, skrap, kuas, *cutter*, lidi, cetakan logam ukuran 5x5x5 cm, alat uji kuat tekan (Laboratorium Bahan dan Bangunan Teknik Sipil UR), *X-Ray Diffractometer* (Laboratorium Fisika Material dan Biofisika, FMIPA Universitas Negeri Padang), *Scanning Electron Microscope* (Laboratorium Metalurgi Jurusan Teknik Mesin Universitas Andalas), *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (Laboratorium Riset Sains Material, FMIPA UR).

2.3 Variabel Penelitian

Variabel yang akan dilakukan pada penelitian ini terbagi atas variabel tetap dan variabel berubah.

2.3.1 Variabel Tetap

Variabel tetap pada penelitian ini, yaitu:

<i>Fly ash</i> (FA)	= 23,25 wt%
Pasir (P)	= 46,50 wt. %
Na ₂ SiO ₃	= 19,45 wt. %
NaOH	= 7,8 wt. %
Pasir : <i>fly ash</i>	= 2 : 1
Na ₂ SiO ₃ : NaOH	= 2,5 : 1
(Na ₂ SiO ₃ + NaOH):(FA+P)=	0,39 : 1 (Saafi dkk, 2014)

Ukuran geopolimer = 5x5x5 cm
Curing dilakukan pada suhu 90°C selama 24 jam

2.3.2 Variabel berubah

Variabel berubah pada penelitian ini adalah %wt grafena oksida (0; 1; 2 dan 3 wt%) dari komposit geopolimer, konsentrasi NaOH 6 M, 10 M, 14 M.

2.4 Prosedur Penelitian

2.4.1 Persiapan Bahan Baku dan Peralatan

Fly ash yang akan digunakan terlebih dahulu dikeringkan menggunakan oven pada suhu 105-110°C. Sodium hidroksida yang akan digunakan dilarutkan dalam aquades sehingga dihasilkan larutan NaOH 6 M, 10 M dan 14 M. Kemudian, sodium silikat dilarutkan dalam larutan NaOH.

2.4.2 Pembuatan Grafena Oksida (GO)

Sebanyak 1 gram serbuk grafit dioksidasi menggunakan 23 ml H₂SO₄; 0,5 gram NaNO₃; 3 gram KMnO₄. Proses pencampuran bahan dilakukan di dalam *ice bath* dan suhu dijaga dibawah 20°C. Kemudian larutan diaduk pada suhu 40°C pada hot plate selama 14 jam. Selanjutnya, larutan dipindahkan ke *ice bath* dan

sebanyak 50 ml H₂O ditambahkan secara bertahap ke dalam larutan dengan suhu dijaga dibawah 90°C. Larutan dipanaskan pada suhu 50 °C pada hot plate dan diaduk selama 1 jam. Selanjutnya larutan dipindahkan dari hot plate dan 150 ml H₂O ditambahkan dalam larutan. Pada tahap ini terlihat larutan berubah menjadi warna coklat. Sebanyak 5 ml H₂O₂ ditambahkan ke dalam larutan dan diaduk. Selama 30 menit sehingga terlihat larutan berubah warna menjadi warna kuning. Pada tahap ini diperoleh grafit oksida yang terdispersi dalam larutan. Untuk memisahkan grafit oksida dari larutan digunakan kertas saring dan dicuci dengan H₂O secara berulang hingga pH mendekati netral. Endapan grafit oksida hasil penyaringan kemudian dipanaskan pada suhu 80 °C menggunakan oven selama 4 jam, sehingga diperoleh padatan grafit oksida. Kemudian grafit oksida dicampurkan dengan H₂O dan didispersi menggunakan sonikator untuk mengelupas lapisan-lapisan yang menyusun grafit oksida. Sehingga diperoleh grafena oksida yang terdispersi dalam larutan (Rafitasari dkk, 2016). GO dilarutkan dalam air, karena GO dapat terlarut dengan baik dalam aqueous dan pelarut polar (Rahman dkk, 2015)

2.4.3 Pembuatan Geopolimer-GO

Proses pembuatan geopolimer-GO melalui beberapa tahapan yaitu: campurkan GO dengan larutan NaOH dan sonikasi selama 1 jam. Lalu campurkan dengan *fly ash*, pasir dan larutan aktivator (dimana *fly ash* dan pasir sudah diaduk secara merata terlebih dahulu) diamkan selama 1 menit, lalu aduk hingga homogen. Tuangkan pasta ke dalam cetakan berbahan logam,

berukuran 5x5x5 cm, lalu diamkan selama 2 jam. Kemudian dilakukan proses *curing*, yaitu pengovenan selama 24 jam pada suhu konstan 90°C. Keluarkan cetakan dari oven, lalu diamkan selama 15 jam di ruangan bersuhu 25-30 °C, lalu keluarkan mortar dari cetakan dan diamkan. Pembuatan geopolimer dilakukan secara triplo.

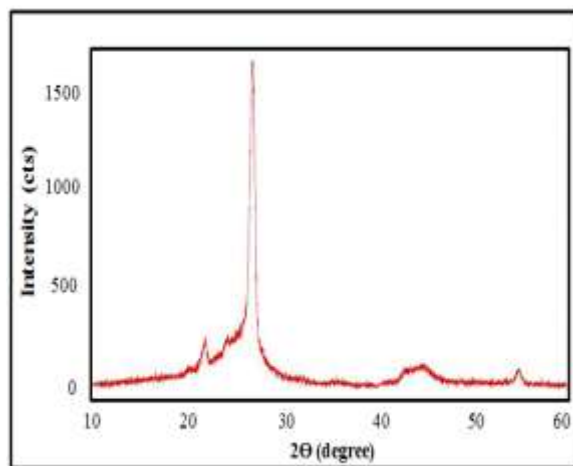
2.4. Analisa Hasil

Karakterisasi geopolimer yang dilakukan yaitu analisa kuat tekan, XRD dan SEM. Sedangkan pada GO dilakukan uji XRD.

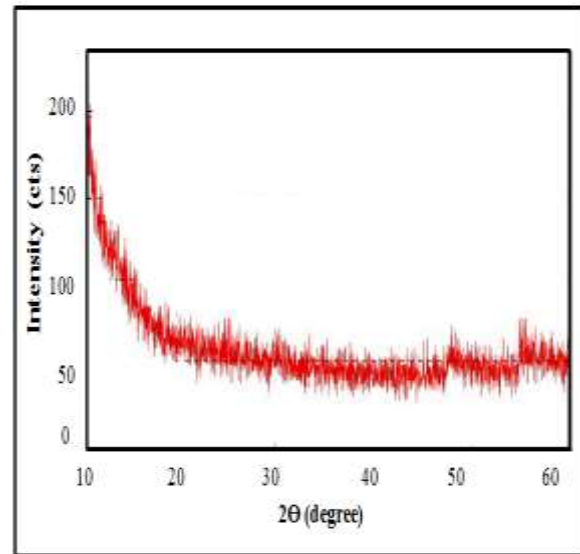
3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Identifikasi XRD Grafit dan GO yang digunakan dalam Penelitian

Puncak difraksi untuk grafit adalah $26,6^{\circ}$. Syakir dkk, (2015); Taufantri dkk, (2016); Zhang dkk, (2010) menyatakan bahwa puncak difraksi grafit secara berturut-turut adalah $26,5^{\circ}$; $26,58^{\circ}$; $26,6^{\circ}$. Hasil ini relatif berdekatan dengan data ICDD 00-056-0159 yaitu $26,54^{\circ}$.



(a)



(b)

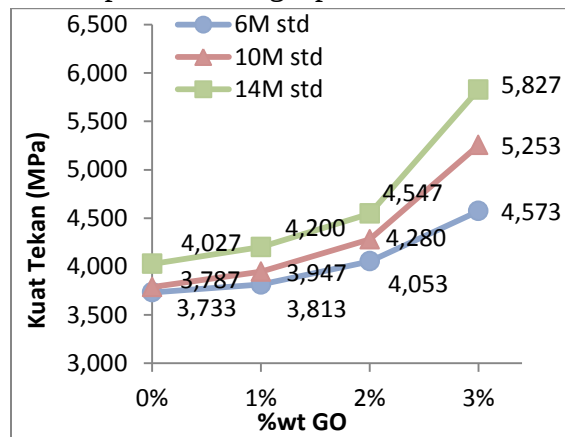
Gambar 1 Hasil uji XRD grafit (a) dan GO (b)

Hasil uji XRD GO menunjukkan bahwa terjadi kenaikan intensitas pada area 10° yang mengindikasikan terbentuknya grafena oksida dimana bersesuaian dengan puncak grafena oksida berdasarkan data ICDD 00-065-1528 yaitu $9,7^{\circ}$. Syakir dkk, (2015) melaporkan bahwa puncak grafena oksida adalah $10,9^{\circ}$. Naebe dkk, (2014) serta Zhang dkk, (2010) melaporkan bahwa puncak grafena oksida berturut-turut adalah $10,5^{\circ}$; $11,2^{\circ}$. Adanya perubahan sudut XRD dari grafit ke GO yang bergeser ke arah kiri lebih rendah, menunjukkan terjadinya perubahan, yaitu sifat kristalinitas material berkurang (Taufantri dkk, 2016). Ukuran diameter kristal grafit gerus dan grafena oksida dihitung menggunakan modifikasi persamaan Scherrer dan diperoleh ukuran diameter kristal grafit gerus adalah 38,77 nm, sedangkan grafena oksida adalah 2,11 nm. Sutayasa dan Sanjaya (2015) melaporkan bahwa ukuran diameter kristal grafit adalah 25,41 nm. Khenfouch

dkk, (2014) melaporkan bahwa ukuran diameter kristal grafit adalah 68,01 nm, sedangkan grafena oksida adalah 2,61 nm.

3.2 Kuat Tekan Geopolimer

Gambar 2 menunjukkan pengaruh kenaikan %wt GO dan konsentrasi NaOH terhadap kuat tekan geopolimer.

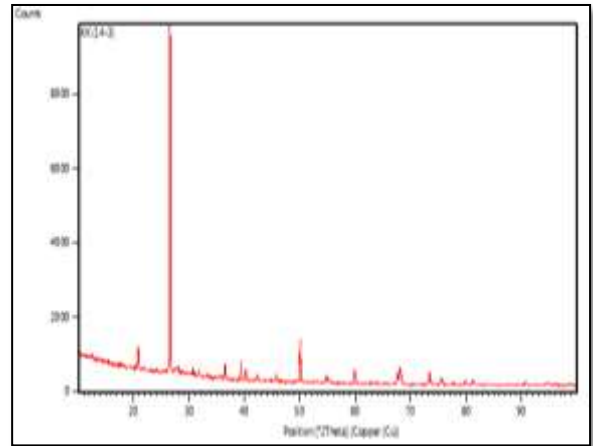


Gambar 2 Grafik pengaruh kenaikan %wt GO dan konsentrasi NaOH terhadap kuat tekan geopolimer

Gambar 2 menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi NaOH dan semakin banyak grafena oksida yang ditambahkan, maka semakin tinggi kuat tekan geopolimer. Kuat tekan tertinggi tercapai pada penggunaan NaOH dengan molaritas tertinggi yaitu, 14M dengan penambahan GO maksimum yaitu 3% wt dengan kuat tekan 5,83 MPa.

3.3 Analisa Kristalinitas Geopolimer

Hasil analisa kristalinitas geopolimer menunjukkan bahwa puncak tertinggi terletak pada $26,56^\circ$ dengan d-spacing 0,335 nm. Jenis mineralnya adalah quartz (SiO_2) dan kyanite ($\text{Al}_2\text{O}(\text{SiO}_4)$). Hal ini bersesuaian dengan data ICDD 01-075-8320 ($26,56^\circ$ dengan d-spacing 0,334 nm). Ranjbar dkk, (2015), melaporkan bahwa puncak XRD pada geopolimer terletak pada $26,6^\circ$.



Gambar 3 Hasil uji XRD geopolimer 14M, 3%wt GO

3.4 Analisa Morfologi Geopolimer



Gambar 4 Morfologi geopolimer 14 M, 3%wt GO

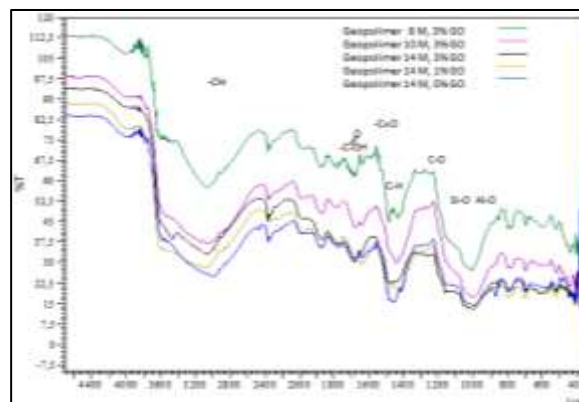
Gambar 4 menunjukkan morfologi geopolimer 14 M, 3%wt GO dengan kuat tekan tertinggi 5,8 MPa. Terlihat bahwa geopolimer dengan konsentrasi NaOH tertinggi membentuk kristal yang berukuran besar. Hal ini terjadi karena NaOH merupakan larutan aktivator. Menurut Davidovits (2008), konsentrasi aktivator berperan penting dalam peningkatan kekuatan geopolimer. Semakin tinggi konsentrasi aktivator maka kuat tekan geopolimer yang dapat dicapai umumnya juga semakin meningkat. Hal ini dapat terjadi karena semakin tinggi konsentrasi aktivator maka semakin banyak jumlah mol

yang terdapat di dalamnya, sehingga reaksi polimerisasi kondensasi menjadi semakin sempurna. Larutan NaOH yang lebih pekat juga menyediakan ion OH⁻ lebih banyak sehingga pembentukan monomer-monomer lebih optimal (Fansuri dkk, 2008).

Penambahan GO maksimum juga mampu memperbaiki morfologi geopolimer. geopolimer dengan penambahan GO 3% wt memiliki permukaan yang lebih rapat karena pori semakin berkurang. Berkurangnya pori ini, dapat disebabkan oleh adanya GO yang berikatan dengan matriks geopolimer yang bermuara pada pengurangan porositas serta memperkuat geopolimer (Saafi dkk, 2014).

3.5 Analisa Gugus Fungsi Geopolimer

Hasil analisa FTIR ditunjukkan pada Gambar 5, terlihat bahwa adanya penyerapan pada rentang bilangan gelombang 800-1200 cm⁻¹, hasil ini menunjukkan adanya ikatan Si-O dan Al-O. Hasil ini sesuai dengan yang dilaporkan Saafi dkk, (2015) bahwa pada rentang bilangan gelombang 800-1200 cm⁻¹ terdapat ikatan Si-O dan Al-O. Hasil ini menunjukkan bahwa telah terbentuk gugus polysialate pada geopolimer yang telah disintesa. Absorbansi ikatan Si-O dan Al-O meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi NaOH serta peningkatan penambahan GO. Absorbansi ikatan Si-O/Al-O pada geopolimer-GO (14M, 3% GO) lebih tinggi dibandingkan dengan geopolimer tanpa GO (14M, 0% GO). Hal ini menunjukkan bahwa ikatan Si-O/Al-O yang terbentuk semakin banyak, sehingga mampu mendukung peningkatan kuat tekan geopolimer yang dihasilkan.



Gambar 5 Hasil uji FTIR geopolimer

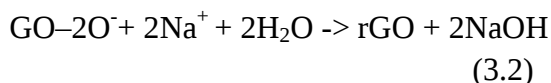
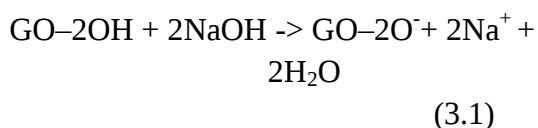
Puncak pada rentang bilangan gelombang 3000-3700 cm⁻¹, menunjukkan bahwa terdapat gugus OH dalam geopolimer. Sedangkan pada rentang 1650-1770 cm⁻¹ terdapat gugus C=O. Keberadaan gugus O-H dan C=O menunjukkan bahwa grafena oksida teridentifikasi di dalam geopolimer. Geopolimer 14 M, 3% GO memiliki gugus O-H dan C=O dengan absorbansi yang lebih rendah dibandingkan dengan geopolimer 14 M tanpa GO. NaOH merupakan penyebab terjadinya deoksigenasi pada lembaran GO dan menurunkan absorbansi gugus O-H dan C=O. Penurunan absorbansi ini menunjukkan bahwa GO dalam geopolimer telah tereduksi secara *in-situ*, sehingga membentuk rGO (*reduced Graphene Oxide*). Terbentuknya rGO dapat meningkatkan sifat mekanis geopolimer (Saafi dkk, 2015).

Puncak C-O terdeteksi pada rentang 1200-1300 cm⁻¹. Absorbansi tertinggi terdeteksi pada geopolimer dengan jumlah penambahan GO dan konsentrasi NaOH maksimum, yaitu 14M, 3%wt.

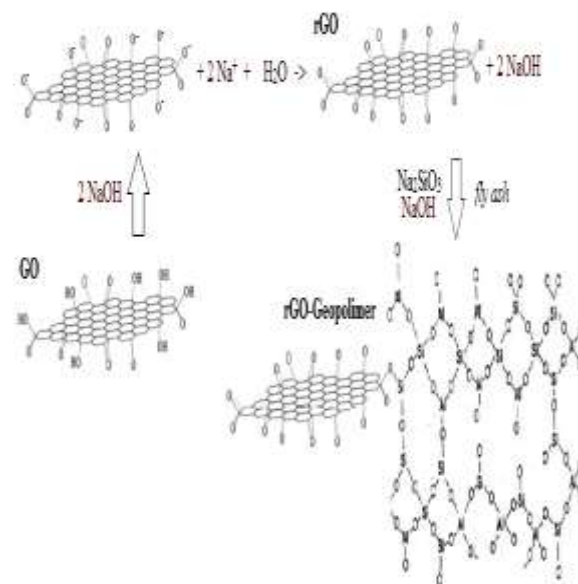
3.6 Perkiraan mekanisme interaksi antara GO dan matrik geopolimer

Chen dkk, (2014) melaporkan bahwa rGO terbentuk dengan adanya larutan NaOH yang bertindak sebagai katalisator. Larutan NaOH mengandung OH^- , Na^+ , H_2O . Pada mekanisme reduksi GO, anion OH^- pada NaOH dapat berinteraksi dengan gugus hidroksil dan mentransfer elektron kepada lembaran GO. Sehingga GO terdeprotonasi membentuk GO bermuatan negatif (GO-O^-), ion Na^+ , serta molekul air (H_2O).

Elektron C-O^- pada GO ini juga memiliki ikatan yang lemah, sehingga atom O pada GO dapat ditarik oleh kation Na^+ . Diperkirakan antara ion Na^+ dan O^- memiliki medan listrik yang cukup kuat sehingga membentuk Na_2O yang terlarut dalam air menjadi NaOH. Medan listrik yang kuat dapat membelah molekul air menjadi OH^- dan H^+ . H^+ terprotonasi oleh atom O sehingga membentuk hidroksil. Kemudian hidroksil terionisasi membentuk OH^- dengan mendapatkan elektron dari lembaran grafena oksida. Kemudian atom O pada C-O^- yang tidak terikat dengan Na^+ akan membentuk epoksi (C-O-C) yang terdapat pada sisi rGO. Kemudian NaOH terbentuk kembali dan membentuk satu molekul air. Hal ini menunjukkan bahwa NaOH berperan sebagai katalisator dalam pembentukan reduksi grafena oksida. Mekanisme reduksi GO dapat dinyatakan dalam persamaan reaksi 3.1 dan 3.2 berikut ini.



Selanjutnya, larutan alkali aktivator-rGO tersebut dicampurkan dengan *fly ash* dan pasir, sehingga mineral-mineral dalam *fly ash* terdisolusi dalam larutan GO-aktivator yang menghasilkan pasta geopolimer, sehingga terbentuklah monomer silikat dan aluminat yang berikatan dengan rGO. Chen dkk, (2014) telah melaporkan bahwa reduksi GO menyebabkan terbentuknya gugus epoksi. Sebelum tereduksi, GO sudah memiliki gugus epoksi. Tereduksinya GO, menyebabkan gugus epoksi yang dimiliki rGO semakin banyak. Epoksi merupakan gugus yang berinteraksi dengan matriks Si seperti terlihat pada Gambar 6 berikut ini.



Gambar 6 Perkiraan mekanisme interaksi antara GO dan komponen *fly ash*

Ghosh dkk, (2018) menyatakan bahwa pada proses hidrolisis terbentuk $\text{Si}(\text{OH})_4$. Gugus hidroksil pada $\text{Si}(\text{OH})_4$ berinteraksi dengan gugus epoksi (C-O-C) dari rGO. Sehingga terbentuklah ikatan C-O-Si antara epoksi dan silika yang

disebabkan oleh kondensasi interlayer. Peristiwa kondensasi ini terjadi saat proses *curing*. Dimana pasta gopolimer dioven pada suhu 90°C selama 24 jam sehingga terjadi kondensasi yang mengakibatkan air menguap dan terbentuklah struktur jaringan alumina-silikat (Arlis, 2012). Jaringan alumina-silikat tersebut yang berikatan dengan rGO pada gugus epoksi (Ghosh dkk, 2018).

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini, maka dapat disimpulkan bahwa: geopolimer berbasis *fly ash boiler* pabrik *pulp* telah berhasil disintesa dengan menggunakan larutan aktivator (NaOH dan Na₂SiO₃) serta adanya penambahan grafena oksida pada variasi tertentu. Semakin tinggi konsentrasi NaOH dan semakin banyak grafena oksida yang ditambahkan, maka semakin tinggi kuat tekan geopolimer. Kuat tekan tertinggi tercapai pada penggunaan NaOH dengan molaritas tertinggi yaitu, 14M dengan penambahan GO maksimum yaitu 3% wt dengan kuat tekan 5,83 MPa. Secara morfologi, semakin tinggi konsentrasi NaOH maka tekstur geopolimer semakin keras dan membentuk kristal yang berukuran besar. Serta, semakin banyak grafena oksida yang ditambahkan, maka semakin rapat permukaan geopolimer (jumlah pori berkurang). Morfologi terbaik tercapai pada geopolimer 14 M, 3%wt GO. GO berinteraksi dengan matrik geopolimer dengan berikatan pada gugus epoksi pada grafena oksida.

5. Daftar Pustaka

- Arlis, P.N., 2012, *Optimasi Nilai Kuat Tekan Fleksural Geopolimer Abu Terbang Suralaya terhadap Variabel Alkali, Konsentrasi Alkali dan Suhu Curing*, Skripsi, Program Studi Teknik Metalurgi dan Material Fakultas Teknik UI.
- Chen, C., Kong, W., Duan, H dan Zhang, J., 2014, Theoretical simulation of reduction mechanism of graphene oxide in sodium hydroxide solution., *Royal Society of Chemistry*, 16(1): 12858-12864.
- Davidovid, J., 2008, *Geopolymer Chemistry and Application*. France: Intitute Geopolymer.
- Fansuri, H., Swastika, N dan Atmaja, L., 2008, Pembuatan dan Karakterisasi Geopolimer dari Bahan Abu Layang PLTU Paiton, *Akta Kimindo*, 3 (2):61-66.
- Ghosh, A., Miah, M., Majumder, C., Bag, S., Chakravorty, D dan Saha, S.K., 2018, *Royal Society Chemistry*, 2(1): 1-32.
- Khenfouch, M., Buttner, U., Baïtoul, M dan Maaza, M., 2014, Synthesis and Characterization of Mass Produced High Quality Few Layered Graphene Sheets via a Chemical Method , *Scientific Research: Graphene*, 4 (3),7-13.
- Manuahe, R., Sumajouw, M.D.J dan Windah, R.S., 2014, Kuat Tekan Beton Geopolymer Berbahan Dasar Abu Terbang (*Fly ash*), *Jurnal Sipil Statik*, 2(6):277-282.

- Naebe, M., Wang, J., Amini, A., Khayyam, H., Hameed, N., Li, L.H., Chen, Y dan Fox, B., 2014, Mechanical Property and Structure of Covalent Functionalized Graphene/ Epoxy Nanocomposite, *Sci Rep*, 4(4375):1-7.
- Rafitasari, Y., Suhendar, H., Imani, N., Luciana, F., Radean, H., Santoso, ., 2016, Sintesis Graphene Oxide dan Reduced Graphene Oxide, *Seminar Nasional Fisika*, 6(10):1-4.
- Rahman, M.M., Jiang, Z.T., Yin, C.Y., Amri, A., Chuah, L.S., Goh, B.M., Wood, B.J., Mondinos, N., Altarawneh, M dan Dlugogorski, B.Z., 2015, Struturac Thermal Stability of Graphene Oxide-doped Copper Cobalt Oxxide Coatings as Solar Selective Surface, *Journal of Materials Science and Technology*, 32(11), 1179-1191.
- Saafi, M., Tang, L., Fung, J., Rahman, M., Sillars, M., Liggat, J dan Zhou, X., 2014, Graphene /Fly ash Geopolymeric Composites as Self-Sensing Structural Materials, *Smart Material and Structures*, 23(4):1-10.
- Sutayasa, L.T dan Sanjaya, I.G.M., 2015, Karakterisasi Graphene Arang Ampas Tebu Berbasis X-Rd Dan TEM Characterization Of Graphene From Bagasse Charcoal Using X-RD and TEM, *UNESA Journal of Chemistry*, 1(1):23-27.
- Syakir, N., Nurlina, R., Anam, S., Aprilia, A., Hidayat, Sahrul, H dan Fitrilawati, 2015, Kajian Pembuatan Oksida Grafit untuk Produksi Oksida Grafena dalam Jumlah Besar, *Jurnal Fisika Indonesia*, 19(55):26-29.
- Taufantri, Y., Irdhawati., Raka, I.A dan Asih, A., 2016, Sintesis dan Karakterisasi Grafena dengan Metode Reduksi Grafit Oksida Menggunakan Pereduksi Zn, *Jurnal Kimia VALENSI: Jurnal Penelitian dan Pengembangan Ilmu Kimia*, 2(1):17-23.
- Zhang, H.B., Zheng, W.G., Yan, Q., Yang, Y., Wang, J.W., Lu, Z.H., Ji, G.Y dan Yu, Z.Z., 2010, Electrically Conductive Polyethylene Terephthalate/ Graphene Nanocomposites Prepared by Melt Compounding, *Polymer*, 51(1):1191–1196.