

Pengaruh Kosentrasi NaOH dan Jumlah Grafena Oksida Pada Geopolimer Berbasis Limbah Fly Ash Pabrik Kelapa Sawit

Gilang Fathurrahman¹⁾, Amun Amri²⁾, Chairul²⁾

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Kimia, ²Dosen Jurusan Teknik Kimia
Laboratorium Dasar Proses dan Operasi
Fakultas Teknik, Universitas Riau
Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293
Email : Gilang.fathurrahman@student.unri.ac.id

ABSTRACT

Geopolymers are the result of synthesizing inorganic polymers by reacting high concentrated alkali solutions with Si and Al minerals contained in fly ash. The use of these geopolymers can reduce consumption levels of OPC use in the construction industry. This study aims to create geopolimer based fly ash palm mill with the addition of graphene oxide as filler and Determine the effect of NaOH concentration and the amount of grafena oxide addition to geopolimer compressive properties as well as to study the morphological and physical-chemical structure in geopolimer. Geo-polymer preparation includes several steps of fly ash and sand preparation and then continued by making alkali activator solution (NaOH + Sodium silicate) with 6 M, 10 M and 14 M variations and grafena oxide addition with 0%, 0.2% wt, 0.4% wt, and 0.6% wt. The results showed that the highest compressive strength on the addition of NaOH concentration of 14 M and the addition of 0.6% wt of oxena oxide is 13.2 Mpa on and the lowest compressive strength is produced at the concentration of NaOH 6 M and without the addition of GO that is 5.1 Mpa. This study shows that the addition of graphene oxide can increase the compressive strength of the geopolimer and NaOH as an alkaline solution can reduce the GO sheet into rGO sheets and create an increasingly denser geopolimer structure as the NaOH concentration increases.

Key words : *Geopolimer, Fly Ash, Graphene Oxide*

1. Pendahuluan

Saat ini materi konstruksi yang paling banyak digunakan di dunia sebagai bahan utama dalam produksi beton adalah *Ordinary Portland Cement* (OPC). Bahan dasar pembuatan OPC adalah batu kapur, Jumlah batu kapur yang digunakan dalam pembuatan OPC sebanyak $\pm 80\%$ (Tjokrodimuljo, 2007). Sementara pembangunan infrastruktur di indonesia maupun di dunia semakin meningkat, hal ini mangakibatkan kebutuhan semen juga

semakin besar. Menurut KEMENPERIN (2017), total kapasitas produksi semen nasional mencapai 68,7 juta ton dengan kemampuan produksi 59,85 juta ton. Pada 2014 jumlah ekspor semen asal Indonesia hanya 220.000 ton sementara impor sebanyak 2,4 juta ton. Selain itu, proses pembakaran dan dekomposisi batu kapur menghasilkan emisi karbondioksida yang signifikan (Satria dkk., 2016). Dampak yang ditimbulkan oleh OPC mendesak penggunaan bahan alternatif lain yang lebih ramah

lingkungan. Untuk itu digunakan beton geopolimer yang merupakan salah satu beton alternatif yang dibuat tanpa menggunakan semen *portland* sebagai bahan pengikat, dan sebagai gantinya digunakan abu terbang (*fly ash*) yang kaya akan silika dan aluminium yang dapat bereaksi dengan cairan alkalin aktivator untuk menghasilkan bahan pengikat pengganti semen *portland* (Satria dkk., 2016). Beberapa tahun ini, penelitian banyak mengarah pada pengembangan geopolimer dengan bahan baku *fly ash* (FA). Geopolimer adalah hasil sintesis polimer anorganik dengan mereaksikan larutan alkali berkonsentrasi tinggi dengan mineral Si dan Al yang terdapat pada FA. Penggunaan geopolimer ini dapat mengurangi tingkat konsumsi penggunaan OPC dalam industri konstruksi. OPC lebih banyak menghasilkan gas rumah kaca dibandingkan geopolimer sehingga berdampak buruk pada lingkungan. Geopolimer menghasilkan gas rumah kaca yang lebih sedikit dikarenakan kandungan dari kalsium karbonatnya yang rendah. (Saafi dkk., 2014). Geopolimer umumnya diproduksi menggunakan *fly ash* batubara sebagai limbah PLTU (*Fly ash* tipe C) meskipun demikian *fly ash* batubara ini masih mengandung logam berat berbahaya seperti (Fe, Pb, Cu, Cr, Cd, Cs, Na dan Zn), dan gas polutan sehingga tergolong limbah B3 berdasarkan PP No. 85 tahun 1999 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun. *Fly ash* pabrik kelapa sawit umumnya tidak mengandung senyawa logam berat berbahaya namun diperkirakan kekuatan geopolimer dari *fly ash* pabrik kelapa sawit akan lebih rendah karena *fly ash* ini merupakan *fly ash* tipe F yang setara dengan *fly ash* pembakaran hasil pertanian/perkebunan lainnya. Menurut ASTM C-618 (2015), *Fly ash* kelas F disebut *low-*

calcium fly ash, yang tidak mempunyai sifat cementitious dan hanya bersifat *pozolanic*. Untuk itu diperlukan kajian sintesis geopolimer berbasis *fly ash* limbah parik kelapa sawit dengan penambahan filler agar kekuatannya meningkat. Penelitian ini akan mensintesis geopolimer berbasis *fly ash* limbah pabrik kelapa sawit dengan penambahan *filler* grafena oksida (GO) agar diperoleh geopolimer yang lebih unggul. Grafena oksida (GO) merupakan senyawa turunan *grafena* yang memiliki sifat nilai konduktifis termal $5000 \text{ Wm}^{-1}\text{K}$, transparansi optikal 97.7%, modulus young 1.0 Tpa, dan kekuatan 130 Gpa (Casero dkk., 2012). *Grafena* juga memiliki luas permukaan $2630 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$, dan memiliki nilai regangan yang bersifat reversibel (Peres, 2010). *Grafena oksida* juga memiliki gugus fungsi oksigen, dan juga dapat dengan mudah terdispersi oleh Pelarut organik, air, dan matriks yang berbeda. Ini adalah keuntungan besar saat menggabungkan material dengan matriks polimer atau keramik untuk meningkatkan sifat mekanik dan elektriknya. Sifat-sifat unik yang dimiliki membuat *grafena oksida* menjadi salah satu material ideal yang bisa diaplikasikan ke berbagai bidang teknologi khususnya menjadi *filler* pada geopolimer.

2. Metodologi Penelitian

2.1 Bahan

Bahan yang digunakan dalam pembuatan geopolimer meliputi *fly ash* dari pabrik kelapa sawit, sodium hidroksida NaOH (*Merck Chemical* Indonesia), sodium silikat Na_2SiO_3 (*Merck Chemical* Indonesia), pasir halus dan aquades (H_2O) kemudian penambahan grafena oksida (komersial) (*Merck Graphene*) dan *Aquadest* (PT. Bratako Chemika)

2.2 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini berupa, erlenmeyer, wadah es, gelas piala, gelas ukur, pipet tetes, wadah percampuran pembuatan geopolimer, alumunium foil, cetakan logam yang berbentuk kubus dengan ukuran (50 x 50 x 50) mm. Peralatan atau instrumen untuk karakterisasi antara lain *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan *X-Ray Diffraction* (XRD).

2.3 Variable Penelitian

Variable penelitian ini meliputi variable tetap dan variable berubah. Variable tetap penelitian ini adalah Komposisi dari geopolimer terdiri atas 70-wt.% (*fly ash* + Pasir) ratio fly ash terhadap pasir (1:2), 20-wt.% sodium silikat dan 8-wt.% NaOH dari berat jenis komposit (Saafi dkk., 2014).

Sedangkan variable berubah adalah Variasi penambahan grafena oksida (GO) 0%, 0.2 wt.%, 0.4 wt.% dan 0.6 wt.% dari massa jenis geopolmer dan variasi kosentrasi NaOH 6 M, 10 M dan 14 M.

2.4 Cara Kerja

Pembutan geopolimer diawali dengan mempersiapkan bahan baku berupa fly ash. Fly ash ini diperoleh dari dengan cara memastikan abu sawit tersebut sudah lolos pada ayakan 200 *mesh*, dan dilakukan Pengolahan POFA dengan pembakaran kembali selama 5 jam di gas furnace dengan suhu $500 \pm 50^\circ\text{C}$ bertujuan untuk mengurangi karbon tidak terbakar dalam abu (Johari dkk., 2012). Serta pengadaan pasir halus sebagai agregat tambahan yang berfungsi sebagai filler pada geopolimer pada umumnya. Hasil fly Ash dan pasir dapat dilihat pada Gambar berikut.



Gambar 1. (a) Fly Aah (b) Pasir

kemudian mempersiapkan Larutan alkali aktivator terlebih dahulu dengan mencampurkan larutan NaOH dengan variasi yg telah ditentukan dengan sodium silikat sebanyak 20%wt dari berat komposit. Proses pencampuran mortar dilakukan secara manual dengan urutan pencampuran yaitu pengadukan abu sawit dan pasir kemudian dilanjutkan dengan penambahan larutan alkali aktivator. sodium silikat dilarutkan terlebih dahulu ke dalam larutan NaOH berdasarkan komposisi yang telah direncanakan dengan variasi kosentrasi 12 M, 14 M dan 16 M, Setelah itu larutan tersebut ditambahkan grafena oksida sesuai variasi yang direncanakan yaitu 0%, 0.2 wt.%, 0.4 wt.% dan 0.6 wt.%. kemudian larutan tersebut didiamkan selama 1 jam. kemudian larutan tersebut dicampurkan dengan abu sawit dan pasir. kemudian diaduk sampai merata hingga di dapat *workability*. Setelah selesai di campur material tersebut kemudian dimasukkan kedalam cetakan logam yang berbentuk kubus dengan ukuran (50 x 50 x 50) mm. Kemudian Adonan dipadatkan agar campuran mengisi seluruh cetakan dengan cara ditekan di setiap sisi cetakan,



Gambar 2. Pemasakan Adonan Geopolimer

Setelah rata ditutup rapat kemudian dioven dengan suhu 80°C selama 24 jam. Setelah 24 jam adonan mengeras dan dilepas dari cetakan. Setelah dipanaskan kemudian material di diamkan selama 7 hari kemudian mortar geopolimer tersebut diuji kuat tekan.



(a)



(b)

Gambar 3. (a) Alat Uji Kuat Tekan (b) Geopolimer Setelah Uji Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan dilakukan di Laboratorium Teknologi Bahan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Riau. Data yang didapatkan secara langsung dari pengujian ini adalah beban gaya maksimum yang dapat diterima sampel dapat terbaca sebagai puncak pada grafik. Beban maksimum dapat dikalkulasi menjadi kuat tekan dalam satuan MPa. Setelah itu, benda uji dikeluarkan dari cetakan dan ditempatkan pada temperatur ruang hingga hari pengujian. Umur pertama mortar mulai dihitung dari hari dibukanya cetakan. Pengujian dilakukan pada benda uji umur tujuh hari. Pengujian kuat tekan ini menggunakan alat uji tekan (*Material Testing Equipment*) dilakukan untuk semua variasi *mix*. Pembebanan dilakukan hingga benda uji menjadi hancur. Beban maksimum yang terjadi selama pemeriksaan dicatat. Pengukuran kuat tekan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$f'c = \frac{P}{A} \dots \dots \dots (1)$$

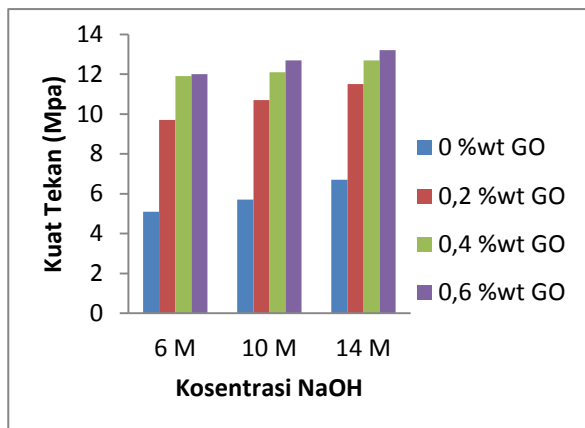
Dimana $f'c$ adalah nilai dari kuat tekan (MPa), P sebagai beban maksimum dari tekanan dari alat uji tekan (*Material Testing Equipment*) (N), A sebagai luas penampang dari mortar geopolimer-grafena oksida (mm²).

3. Hasil dan Pembahasan

Telah dilakukan penelitian tentang pembuatan mortar geopolimer dengan menggunakan fly ash pabrik kelapa sawit dengan memvariasikan konsentrasi NaOH 6 M, 10 M dan 14 M serta memvariasikan jumlah penambahan grafena oksida (GO) yakni 0% wt, 0,2%wt, 0,4%wt dan 0,6 %wt. Pada bab ini akan diuraikan hasil penelitian yang telah dilakukan.

3.1 Hasil Pengujian Kuat Tekan Geopolimer Terhadap Perbedaan Konsentrasi NaOH

Pada penelitian ini digunakan sodium hidroksida dan sodium silikat sebagai alkali aktivator. Kuat tekan pada mortar geopolimer ini diuji pada waktu pengeringan 7 hari. Hubungan kuat tekan beton geopolimer terhadap konsentrasi NaOH yang dipergunakan bisa dilihat seperti Gambar 4.1 berikut..



Gambar 4. Pengaruh Kuat Tekan Perbedaan Konsentrasi Penambahan Grafena Oksida dengan Variasi Konsentrasi NaOH

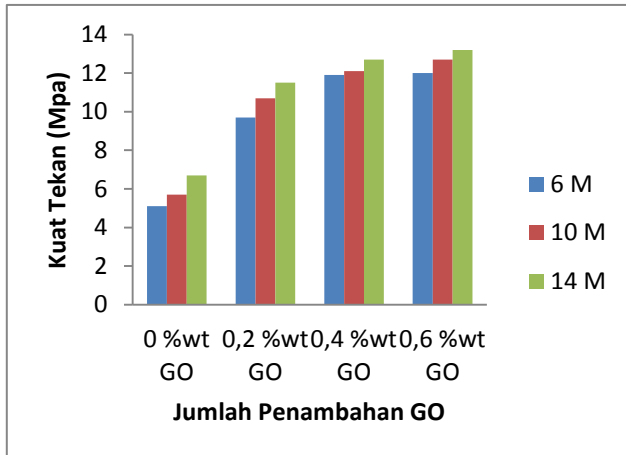
Berdasarkan Gambar 4 terlihat bahwa kuat tekan dari geopolimer (untuk molar yang sama) meningkat dengan bertambahnya jumlah GO yang ditambahkan begitu juga untuk molaritas NaOH yang lain. Bila dibandingkan antar molaritas terlihat juga peningkatan kuat tekan dengan meningkatnya dari 6 M hingga 14 M. Dengan kuat tekan tertinggi mencapai 13,2 Mpa pada molaritas 14 M NaOH dengan penambahan grafena oksida 0,6%wt. Larutan NaOH 14 M lebih pekat jika dibandingkan dengan larutan NaOH 6 M. Semakin tinggi molaritas larutan NaOH yang digunakan maka jumlah air yang ada didalam

campuran juga semakin sedikit. Hal ini menyebabkan beton geopolimer dengan molaritas NaOH lebih tinggi cepat mengeras. Larutan NaOH diperlukan dalam reaksi geopolimerisasi, yaitu untuk pelarutan Si dan Al pada partikel abu terbang dalam fasa gel. Ion hidroksida mengaktifkan oksida-oksida Si dan Al untuk membentuk monomer pembentuk geopolimer (Davidovits, 2008).

NaOH sebagai alkali mengaktifkan prekursor dengan mendissolusikan SiO_2 dan Al_2O_3 ke dalam monomer $\text{Si}(\text{OH})_4$ dan $\text{Al}(\text{OH})_4$. Kemudian selama proses perawatan temperatur (*curing*), monomer-monomer tersebut terkondensasi dan membentuk jaringan polimer tiga dimensi dan berikatan silang (Davidovits, 1991). Reaksi geopolimerisasi dapat terus berlangsung selama masa *curing*. Pada masa ini konsentrasi NaOH yang lebih besar diperkirakan memiliki daya pelarut yang lebih baik serta akan membuat monomer $\text{Si}(\text{OH})_4$ dan $\text{Al}(\text{OH})_4$ semakin banyak terbentuk oleh NaOH sehingga akan lebih mendorong reaksi geopolimerisasi yang lebih baik dan sempurna.

3.2 Hasil Pengujian Kuat Tekan Geopolimer Terhadap Penambahan Jumlah Grafena Oksida

Berdasarkan Gambar 4.2 terlihat bahwa kuat tekan geopolimer meningkat seiring penambahan jumlah grafena oksida untuk berbagai molaritas. Peningkatan penambahan jumlah grafena oksida ditunjukkan pada Gambar 4.2



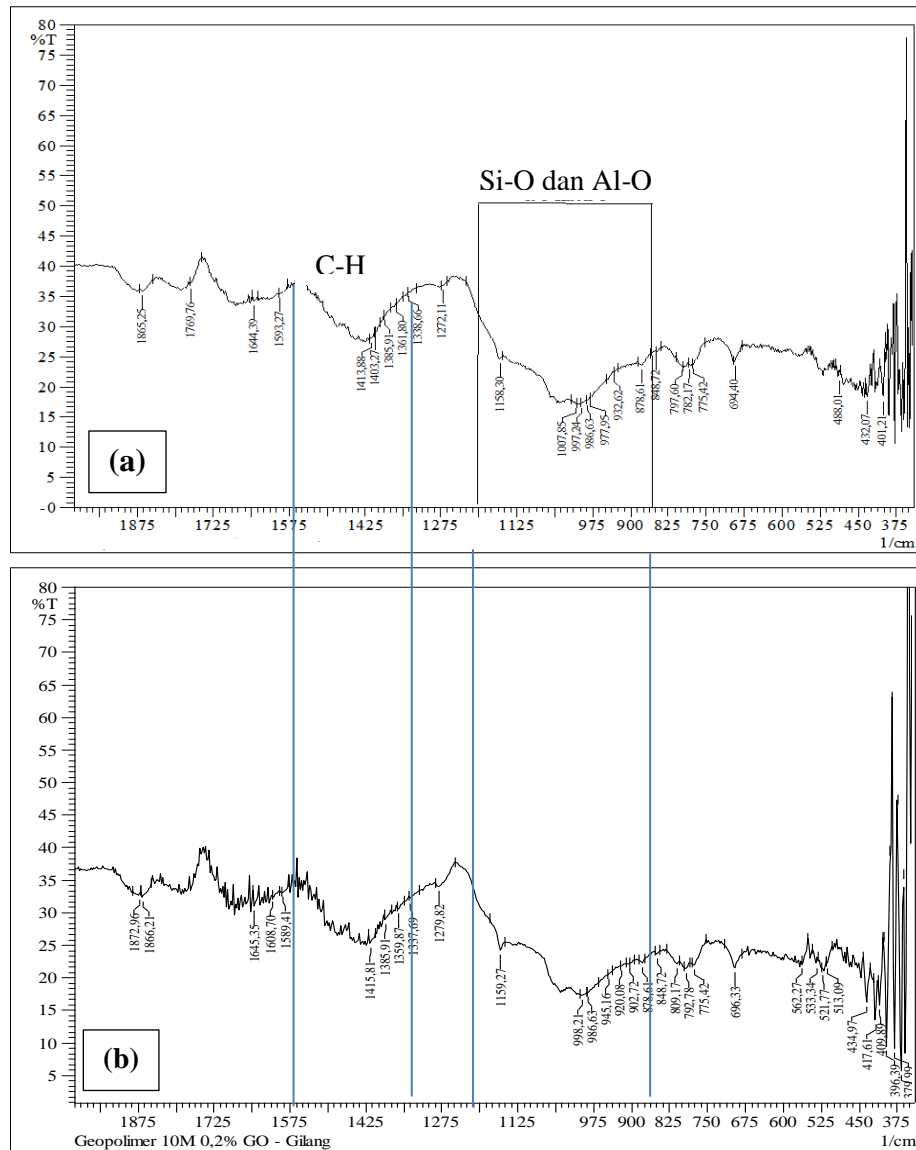
Gambar 5. Pengaruh Kuat Tekan Pada Penambahan Variasi Jumlah Grafena Oksida

Peningkatan tertinggi ditunjukkan pada Gambar 5 setelah penambahan 0,6% wt grafena oksida pada konsentrasi NaOH 14 M yakni 13,1 Mpa. Peningkatan ini disebabkan oleh adanya grafena oksida pada adonan mortar geopolimer

yang mengalami reaksi in-situ terhadap NaOH, sehingga dengan meningkatnya konsentrasi NaOH akan menghasilkan suasana basa yang lebih kuat serta akan membuat lembaran grafena oksida mengalami deoksigenasi yaitu berkurangnya jumlah karbonil dan gugus hidroksil pada lembaran grafena oksida (Saafi dkk., 2014). Hal ini akan membentuk lembaran *reduced*-Grafena oksida (rGO), yaitu material berbasis grafena oksida yang tereduksi sebagaimana terlihat pada pembahasan FT-IR pada subbab berikutnya. Fenomena ini sesuai dengan yang dilaporkan Saafi dkk (2014) dalam jurnalnya. Dimana rGO sifatnya lebih cenderung mendekati grafena yang memiliki kekuatan mekanis dan fleksibilitas yang tinggi sehingga dapat meningkatkan sifat mekanik serta dapat mengurangi porositas (jarak antara pori) pada matriks geopolimer (Saafi dkk., 2014).

3.3 Hasil Analisa Uji FTIR Geopolimer- Grafena Oksida

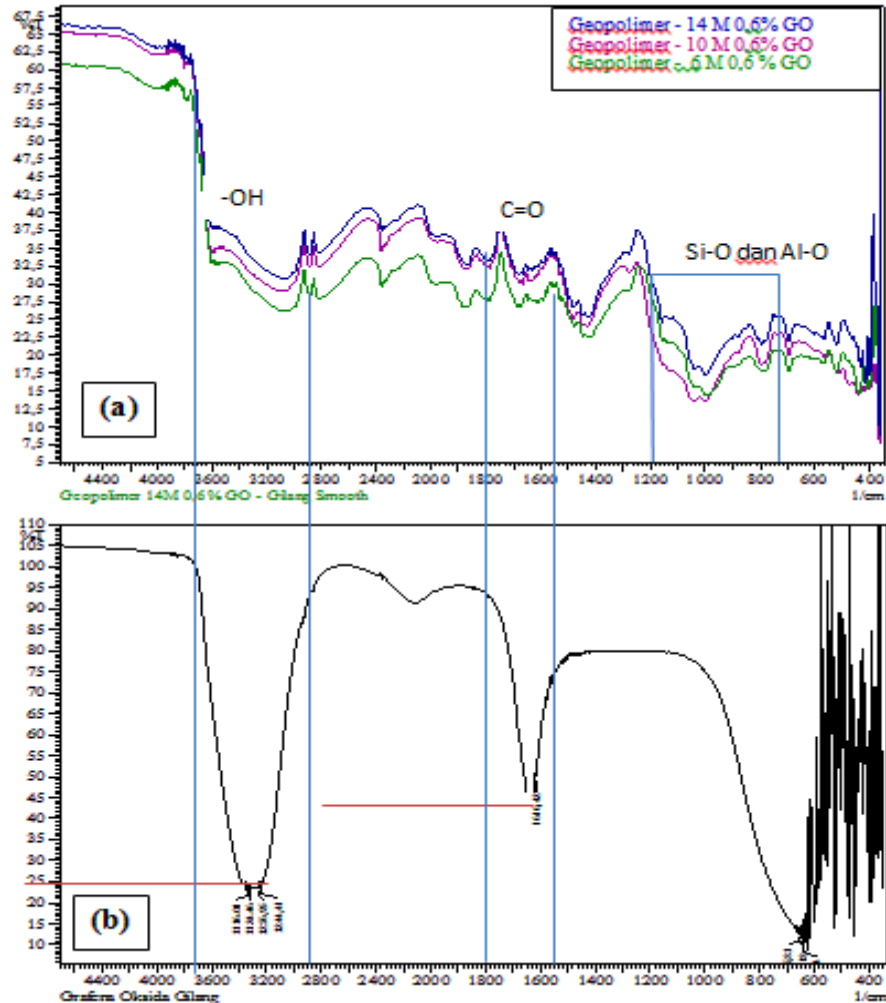
Analisa dengan FTIR berguna untuk melihat gugus fungsi yang ada pada geopolimer yaitu Si-O dan Al-O dan juga akan membandingkannya dengan gugus fungsi C-H, C-O dan -OH yang terdapat pada sampel geopolimer-grafena oksida yang dihasilkan. Pada Gambar 6 menunjukkan pola FTIR pada sampel Geopolimer. Dari gambar terlihat adanya beberapa gugus fungsional utama yang terbentuk pada komposit geopolimer yaitu Si-O dan Al-O. Terlihat pada Gambar 6 molekul-molekul Si-O dan Al-O menyerap (mengabsorpsi) radiasi infra merah pada panjang gelombang tersebut ($845-1200\text{ cm}^{-1}$). Penyerapan oleh gugus-gugus fungsional pada produk komposit geopolimer terlihat muncul pada puncak transmitansi dengan rentang ($845-1200\text{ cm}^{-1}$) yakni bilangan gelombang yang menunjukkan bahwa adanya ikatan Si-O dan Al-O. Kehadiran dari ikatan Si-O dan Al-O menunjukkan sudah terbentuk gugus polysialate yakni struktur geopolimer yang berbasis silika-aluminat. Kemudian terdapat vibrasi pada bilangan gelombang pada rentang $1300-1500\text{ cm}^{-1}$ yang berkaitan dengan kehadiran ikatan C-H pada komposit geopolimer. Terlihat pada Gambar 6 (a) yaitu pada geopolimer non-grafena oksida ikatan C-H terabsorpsi pada 28 %T sedangkan pada Gambar 6 (b) ikatan C-H mengabsorpsi 25% T. Penurunan ini menandakan bahwa pada penambahan grafena oksida pada komposit geopolimer mengakibatkan berkurangnya ikatan C-H pada komposit Geopolimer.



Gambar 6. Spektrum FTIR Geopolimer (a) Non-GO (b) 0,2 % wt GO

Selain gugus Si-O, Al-O dan C-H, terdapat pula gugus -OH dan C=O yang terlihat pada Gambar 7 rentang panjang gelombang (3000-3700) cm^{-1} dan (1500-1700) cm^{-1} . Keberadaan gugus -OH dan C=O menunjukkan adanya grafena oksida yang berada didalam komposit geopolimer. Namun pada konsentrasi yang semakin meningkat keberadaan gugus -OH dan C=O semakin berkurang. Berkurangnya kedua gugus ini

mengakibatkan terbentuknya rGO. Terbentuknya rGO pada komposit geopolimer mengakibatkan kuat tekan yang diperoleh semakin meningkat dikarenakan rGO yang sifatnya cenderung mendekati grafena yang memiliki sifat kekuatan grafena melebihi baja. Ikatan kovalen antar karbon yang kuat menyebabkan grafena sulit untuk diregangkan, sehingga memiliki modulus Young hingga 1,1 Tpa (Syakir dkk., 2015).



Gambar 7. Spektrum FTIR (a) Geopolimer (6 M 0.6% GO), (10 M 0.6% GO) dan (14M 0.6% GO) (b) Grafena Oksida

Pada Gambar 7 terlihat bahwa konsentrasi dari NaOH dapat menciptakan suasana basa yang mengakibatkan terjadinya *deoxygenate* pada lembaran GO sehingga terbentuklah rgo pada komposit geopolimer. Pada Gambar 4.4 terlihat bahwa semakin tinggi konsentrasi NaOH yang diberikan maka kadar oksigen yang berada pada lembaran GO semakin berkurang sehingga akan terbentuk rgo yang

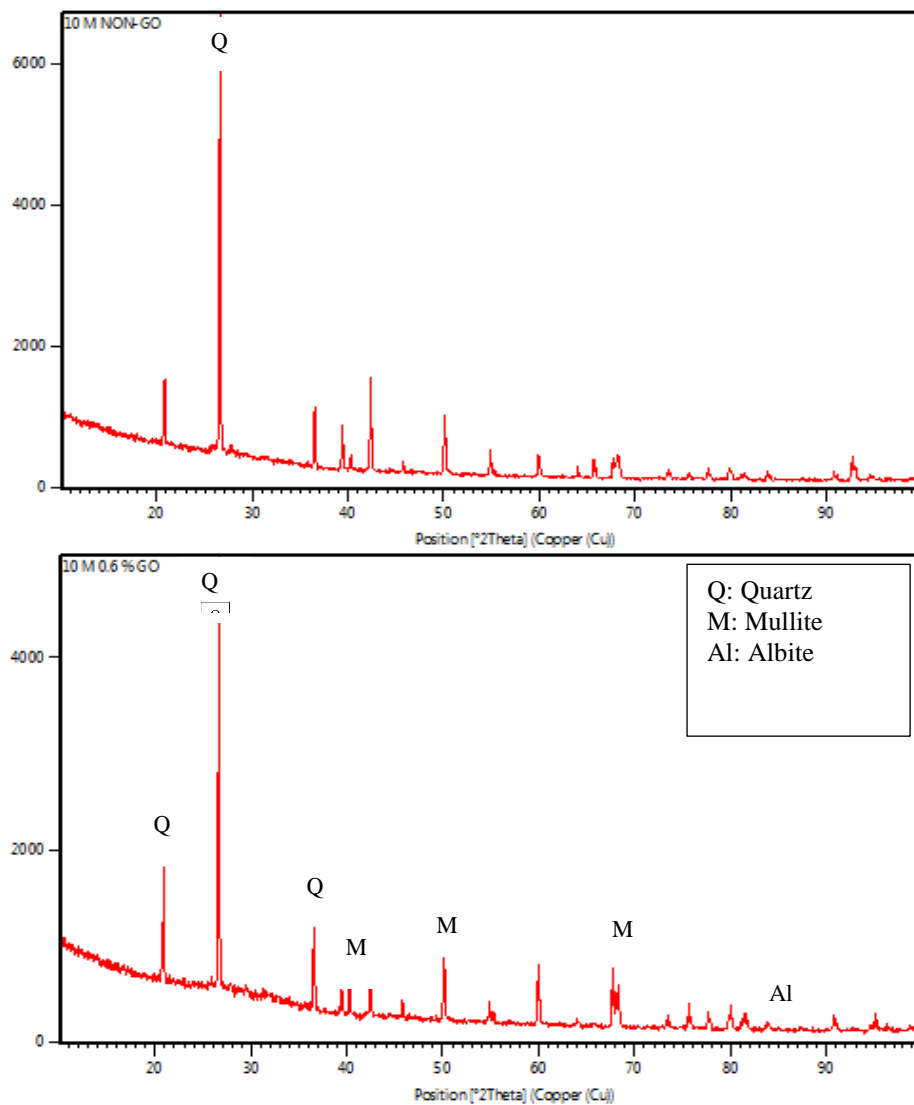
hamper mendekati terbentuknya grafena. Hal ini ditunjukkan dengan pada panjang gelombang 3400 cm^{-1} terjadi stretching (peregangan). Dari hasil uji FTIR terlihat pada Gambar 7. (b) bahwa terdapat puncak lebar pada panjang gelombang 3000-3700 cm^{-1} dan puncak tajam pada 1616 cm^{-1} yang dimiliki grafena oksida komersil. Sementara pada Gambar 7 (a) menunjukkan pada

panjang gelombang $3000-3700\text{ cm}^{-1}$ dan 1616 cm^{-1} mengalami stretching (peregangan) yang cukup signifikan seiring dengan semakin tingginya konsentrasi NaOH yang diberikan. Hal ini disebabkan karena pada percampuran GO dan NaOH mengakibatkan terjadinya

deoxygenate (berkurangnya oksigen) pada lembaran grafena oksida sehingga terbentuk lembaran rGO dimana kandungan dari gugus hidroksil dan karbonil pada lembaran grafena oksida menjadi berkurang.

3.4 Hasil Analisa Uji XRD Geopolimer- Grafena Oksida

Hasil dari pembuatan geopolimer tersebut dikarakterisasi menggunakan instrumen *X-Ray Diffraction* (XRD) Karakterisasi tersebut bertujuan untuk mengetahui kristalinitas pada komposit geopolimer yang telah terbentuk. Hasil analisa XRD ditunjukkan pada Gambar 8 berikut



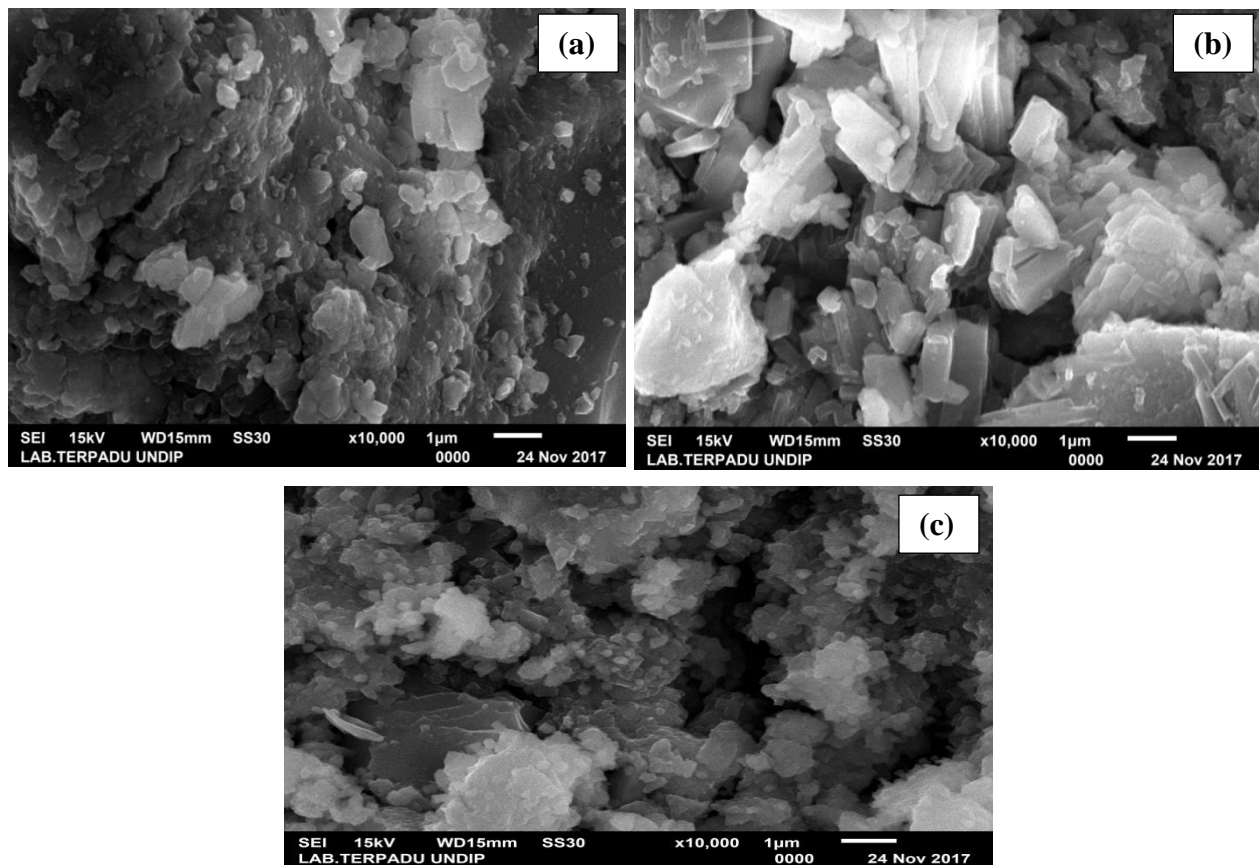
Gambar 8. Pola XRD dari Komposit Geopolimer (a) 10 M non-GO (b) 10 M 0,6 %wt GO

Pada gambar 8 terlihat hasil analisa XRD komposit geopolimer 10 M non-grafena oksida pada Gambar 8 (a) dan 10 M 0,6%wt GO pada Gambar 8 (b). pada masing-masing gambar memiliki puncak difraksi tertinggi pada $27,6^\circ$. Hal ini menandakan bahwa telah terbentuk berupa fasa kristal dari Si-O dan Al-O yang dilambangkan dengan quartz, mullite dan albite. Dimana quartz merupakan bentuk mineral utama dari kristal silika (SiO_2) dan

mullite merupakan bentuk mineral dari silica alumina sedangkan albite merupakan *plagioclase* (CaO , Na_2O , Al_2O_3) mineral. Keberadaan kristal tersebut sesuai dengan penelitian yang sebelumnya bahwa kristal Si-O dan Al-O memiliki puncak difraksi $27,5^\circ$ (Ranjhbar dkk., 2015). Pada komposit geopolimer keberadaan dari rGO sulit untuk dideteksi oleh XRD karena jumlah yang terlalu sedikit.

3.5 Hasil Analisa Uji SEM Geopolimer- Grafena Oksida

Pengujian SEM dilakukan untuk mengetahui bentuk dan struktur permukaan dari sampel komposit geopolimer. Hasil mikrograf geopolimer menunjukkan persebaran dari *filler* grafena oksida pada matriks komposit geopolimer. Untuk mengetahui pengaruh penambahan *filler* grafena oksida pada permukaan geopolimer. Geopolimer dengan komposisi filler 0%, 0.2%wt, dan 0.6%wt dengan konsentrasi yang ditunjukkan pada Gambar 4.6 (a), (b) dan (c).



Gambar 9. Hasil SEM dari Komposit Geopolimer (a) 10 M Non-GO (b) 10 M 0,2%wt GO (c) 10 M 0,6%wt GO

Secara umum penambahan GO pada konsentrasi NaOH yang sama memiliki struktur matrik dasar relative sama. Setelah penambahan GO yang kemudian tereduksi terlihat munculnya lembaran-lembaran reduksi grafena oksida sebagai filler yang terikat secara sekunder (ikatan hidrogen) dengan matrik. Sebagaimana terlihat jelas pada Gambar 4.9 (b). penambahan grafena oksida ini tidak mengubah struktur dasar dari matrik geopolimer.

Gambar 4.9 (a) memperlihatkan geopolimer memiliki tekstur yang tidak cukup padat. Tekstur yang tidak padat ini disebabkan bahwa geopolimer tanpa grafena oksida sangat berpori yang diakibatkan penguapan larutan encer pada pori komposit geopolimer serta terjadinya reaksi parsial (sebagian) antara partikel abu terbang dan larutan alkali. Penggunaan senyawa alkalin dapat merubah GO menjadi rGO (bentuk tereduksi) yang menghilangkan gugus fungsi yang kaya oksigen serta menyebabkan tingginya tingkat kerutan dan lipatan (Saafi dkk.,2015), Sebagaimana terlihat pada Gambar 4.9 (b). Kerutan memiliki efek positif pada sifat mekanik geopolimer yang diperkuat oleh rGO, dimana kerutan tersebut cenderung meningkatkan mekanisme dengan menyambungkan bagian matriks lainnya (Saafi dkk.,2015).

Gambar 4.9 (c) memperlihatkan permukaan tekstur yang lebih merata dan cukup padat. Hal ini disebabkan karena pada penambahan grafena oksida yang lebih banyak yaitu sebesar 0.6%wt mengakibatkan rGO yang terbentuk juga lebih banyak dan tercampur merata disetiap matriks komposit geopolimer. Penyebaran rGO didalam matriks geopolimer mengakibatkan terjadinya pengurangan jumlah pori yang signifikan

pada komposit geopolimer sehingga reaksi antara larutan alkali aktivator dan fly ash juga terjadi lebih merata di setiap bagian matriks komposit geopolimer (Saafi dkk.,2015).

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Peningkatan konsentrasi NaOH dalam pembuatan geopolimer dari *fly ash* pabrik kelapa sawit memberikan hasil kuat tekan yang lebih baik, pada konsentrasi NaOH 14 M diperoleh kuat tekan tertinggi sebesar 13,2 MPa sedangkan pada konsentrasi 6 M diperoleh kuat tekan terendah sebesar 5,1 MPa.
2. Penambahan grafena oksida 0,6% wt pada geopolimer dari fly ash pabrik kelapa sawit dapat meningkatkan kuat tekan geopolimer pada konsentrasi yang sama (NaOH 14 M) dari 6,7 Mpa menjadi 13,2 Mpa.
3. Semakin tinggi konsentrasi NaOH yang diberikan. Maka percampuran GO dan NaOH mengakibatkan terjadinya *deoxygenate* (berkurangnya oksigen) pada lembaran grafena oksida sehingga terbentuk lembaran rGO dimana rGO memiliki sifat yg lebih mirip dengan grafena.
4. Semakin banyak jumlah penambahan grafena oksida maka komposit yang dihasilkan juga semakin padat

5. Daftar Pustaka

- ASTM C618. (2015). *Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use. Annual Book of ASTM Standards*, 3 6.doi:10.1520/C0618

- Johari, M.A.M., Zeyad, A.M., Bunnori, N.M., Ariffin, K.S. (2012). Engineering and transport properties of high-strength green concrete containing high volume of ultrafine palm oil fuel ash, *Construction and Building Materials* 30:281-288.
- Kemenperin, (2017). Pasokan Semen Nasional 102 Juta Ton pada 2017, (Online)(<http://www.kemenperin.go.id/artikel12223/pasokan-semenNasional-102-juta-ton-pada-2017> Diakses 26 Mei 2017).
- Peres, N.M.R. (2010). The Transport Properties of Graphene: An Introduction. *Rev. Mod.Phys.* 82, 2673.
- Ranjbar, N, Mehdi, M, M. Mehrali, U.J Alengaram, M. Zamin jumaat, (2015). *Grafena Nanoplatelet-fly ash Based Geopolimer Composites, Cement and Concrete Research* 76 (2015) 222-231.
- Saafi, M., L. Tang, J. Fung, M. Rahman, F. Sillars, J. Liggit, X. Zhou, (2014). Graphene/fly ash geopolimeric composites as self-sensing structural materials, *Smart Mater. Struct.* 23 065-006.
- Satria, J. Agung, S. Antoni. Djwantoro, H., (2016). Karakteristik Beton Geopolimer Berdasarkan Variasi Waktu Pengambilan Fly Ash. *Fakultas Teknik. Universitas Kristen Petra.*
- Shindunata, (2006). A Conceptual Model of Geopolymerisation. *PhD Thesis Chemical and Biomolecular Engineering.* The University of Melbourne.
- Tjokrodinuljo, K. (2007). *Teknologi Beton.* KMTS FT UGM. Yogyakarta.
- Syagir, N., Nurlina, R., Anam, S., Aprilia, A., Hidayat, Sahrul, H., Fitriawati. (2015). *Kajian Pembuatan Oksida Grafit untuk Produksi Oksida Grafena dalam Jumlah Besar.* *Jurnal Fisika Indonesia* No: 55, Vol XIX, Edisi November *ISSN :1410-2994.* Unpad:Sumedang.