

PENINGKATAN SIFAT MEKANIS MORTAR GEOPOLIMER ABU TERBANG BATUBARA DENGAN PENAMBAHAN GRAFENA

Rahmat Kurniawan Nasution¹⁾, Amun Amri²⁾, Jhon Armedi Pinem²⁾

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

E-mail: rahmatnst.rk100@gmail.com

ABSTRACT

This study aims to observe the influence of graphene addition to the mechanical properties of coal fly ash based geopolymers. The procedure of research consisted of raw materials preparation including the graphene synthesis via Turbulence Assisted Shear Exfoliation (TASE) method, alkali activators solution preparation, and finally moulding and curing process of geopolymer mortar. The results showed that the compressive strength of geopolymer increased while the porosity and the water absorption decreased along with the addition of graphene. The highest compressive strength, the smallest porosity and the smallest water absorption, namely 15.228 MPa, 18.498 % and 10 % respectively was exhibited by sample synthesized using 20 mg/mL of graphene and curing temperature of 80 °C. The presence of graphene in the Geopolymer matrix increases the compressive strength properties of the Geopolymer mortar.

Keywords : *alkali activators, geopolymer, graphene, matrix, TASE*

A. PENDAHULUAN

Geopolimer memiliki kemampuan yang cukup baik dalam hal kuat tekan, ketahanan terhadap api dan ketahanan terhadap korosi (Ramujee, 2016). Material yang memiliki kandungan SiO₂ dan Al₂O₃ yang tinggi berpotensi untuk dijadikan bahan dasar pembuatan geopolimer. Proses pembentukan geopolimer disebut dengan proses geopolimerisasi, yaitu reaksi gugus fungsi yang menghasilkan suatu molekul besar bergugus banyak dan diikuti pelepasan molekul kecil berupa air. Proses pelepasan air ini terjadi selama proses *curing* (Malkawi, Fadhil, Fauzi, & Almattarneh, 2016).

Geopolimer berbahan dasar *fly ash* menunjukkan sifat mekanis yang sama dengan OPC namun dengan kinerja yang lebih baik dalam kondisi lingkungan yang ekstrim. OPC (*ordinary portland cement*)

merupakan bahan perekat dan digunakan sebagai campuran dalam bidang konstruksi, ketergantungan penggunaan OPC pada segala bidang konstruksi semakin mengikat setiap saat [Putri dkk, 2014]. Padahal OPC merupakan salah satu kontributor utama penghasil gas rumah kaca (CO₂) yang dapat merusak lingkungan jika dibandingkan dengan penggunaan geopolimer berbahan dasar *fly ash* dalam bidang konstruksi [Saafi dkk, 2015]. Ini disebabkan karena rendahnya kandungan kalsium karbonat (CaCO₃) pada *fly ash* dan rendahnya temperatur dalam proses pembuatan dari mortar geopolimer [Saafi dkk, 2015].

McLellan dkk [2011] menyebutkan setidaknya paling sedikit 5 – 7% gas CO₂ dihasilkan selama proses pembuatan OPC. Selain itu, geopolimer memiliki keunggulan lain seperti stabilitas reaksi

kimia yang baik, penyusutan rendah dan tahan terhadap api. Sifat geopolimer yang tahan terhadap api dikarenakan adanya ikatan 3-D polimer Si-O-Al [Saafi dkk, 2014]. Maka dengan sifat yang dimiliki oleh geopolimer ini, penggunaan mortar geopolimer berbahan dasar *fly ash* memiliki potensi besar untuk digunakan dalam pembuatan kanal blok pada lahan gambut. Oleh sebab itu, pada penelitian ini dilakukan pembuatan mortar geopolimer berbahan baku *coal fly ash* dengan melihat pengaruh grafena terhadap peningkatan sifat kuat mekanis, tingkat *flexibility* dan *durability* mortar sehingga menjadi mortar yang handal dan siap langsung untuk digunakan.

B. TINJAUAN PUSTAKA

B.1 Geopolimer

Istilah geopolimer pertama kali diperkenalkan oleh Davidovits pada tahun 1978 untuk menggambarkan jenis pengikatan mineral yang memiliki komposisi kimia menyerupai zeolit tetapi memiliki mikrostruktur amorf. dengan istilah “poly (sialate)” (Saafi, Tang, Fung, Rahman, & Liggat, 2015). Proses pembentukan geopolimer tersebut disebut dengan proses geopolimerisasi. Geopolimerisasi melibatkan reaksi polimerisasi dari alumina-silikat-oksida (Si-O-Al) dengan larutan alkali dimana molekul tetrahedral Si dan Al secara bergantian dihubungkan bersama dalam 3 arah dengan berbagi atom oksigen (Ramujee, 2016).

B.2 Parameter Kualitas Mortar Geopolimer

Kualiatas yang baik pada geopolimer sangat diperlukan untuk menentukan kelayakan dari geopolimer yang dibentuk terhadap standar yang telah ditentukan. Parameter – parameter yang digunakan

sebagai tolak ukur kualitas geopolimer antara lain sebagai berikut:

B.2.1 Kuat Tekan

Kuat tekan adalah parameter yang menunjukkan seberapa besar beban persatuan luas yang menyebabkan benda uji (*speciment*) hancur oeh gaya tertentu. Kuat tekan merupakan salah satu sifat penting dalam menentukan mutu dan kualitas mortar itu sendiri. Namun kekuatan mutu beton yang tinggi bukan tujuan utama, karena dalam pembuatan mortar akan menghasilkan kekuatan yang berbeda-beda sesuai dengan kebutuhan yang diinginkan, pembuatan mortar akan berhasil jika dalam pencapaian kuat tekan mortar sesuai dengan yang telah direncanakan dalam rancang campur mortar (Emi, 2017).

Spesifikasi kuat tekan mortar geopolimer yang dipersyaratkan dirujuk berdasarkan ASTM C 270-07 (2007). Spesifikasi ini juga didasarkan dari standar kuat tekan minimum pada mortar semen. Standar kuat tekan tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Spesifikasi Persyaratan Kuat Tekan ASTM C 270-07 (2007)

Type	Compressive Strength 28 Day, min Psi (MPa)	Penggunaan Mortar
M	2500 (17,2)	Pancang bertulang maupun tidak bertulang yang memikul beban tekan yang besar.
S	1800 (12,4)	Struktur bawah tanah seperti pondasi, dinding penahan tanah, perkerasan, saluran dan <i>mainhole</i> .

N	750 (5,2)	Konstruksi pasangan diatas tanah, dinding penahan beban interior maupun eksterior.
O	350 (2,4)	Dinding interior dan eksterior yang tidak menahan beban struktur.

B.2.1 Porositas

Porositas merupakan persentasi besarnya ukuran dari ruang kosong diantara material dan merupakan fraksi dari volume ruang kosong terhadap total suatu mortar (Nugroho, 2010). Rongga pori berisi udara (*air voids*) dan air (*water filled space*), apabila mortar mengering akan dapat membentuk kapiler yang mengakibatkan mortar bersifat temus air (*porous*). Kuat tekan akan menjadi kurang baik apabila terdapat rongga pori yang tidak terisi oleh butiran pasir maupun material penguat lainnya. Besarnya porositas pada mortar dihitung berdasarkan American Society of Testing and Materials (2006).

B.2.2 Absorpsi Air

Absorpsi menyatakan besarnya penyerapan air pada mortar diukur dengan benda uji (*speciment*) tanpa memberikan tekanan air pada benda uji tersebut, dengan melihat penyerapan air pada waktu periode tertentu. Besarnya absorpsi pada mortar dihitung berdasarkan American Society of Testing and Materials (2006).

B.3 Grafena

Grafena merupakan material baru berukuran nano dan kuat. Grafena terbentuk dari susunan atom-atom karbon *monolayer* dua dimensi yang membentuk struktur kristal heksagonal menyerupai sarang lebah. Grafena memiliki sifat unik dan unggul dibandingkan dengan material

lain. Grafena mempunyai ketebalan satu atom dan bersifat semi logam. Struktur yang terdiri dari *monolayer* membuat grafena sangat konduktif dengan mobilitas pembawa muatan hingga $200.000 \text{ cm}^2/(\text{V.s})$ (Syakir, Nurlina, Anam, Aprilia, & Hidayat, 2015). Sedangkan untuk *grafena few layer* antara $3000-10000 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ (Novoselov et al., 2004). Sifat-sifat unik yang dimiliki membuat grafena menjadi salah satu material ideal yang bisa diaplikasikan berbagai bidang teknologi serta material penguat dalam komposit.

C. METODE PENELITIAN

C.1 Bahan

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *fly ash* batu bara yang diperoleh dari PT. PLTU Tenayan Raya Pekanbaru Riau sebagai prekursor, Na_2SiO_3 (32,6% SiO_2 , 14,8% Na_2O dan 52,6% H_2O) (*Merk Chemical* Indonesia) dan NaOH (*Merk Chemical* Indonesia) sebagai alkali aktivator, pasir cor putih sebagai agregat halus dan grafit murni digunakan untuk mensistesis grafena. Bahan lain yang digunakan diantaranya surfaktan (*sodium lauryl sulfate*) 18.9%, dan *aquadest* (PT. Bratako Chemika).

C.2 Variabel Penelitian

Variabel dalam penelitian ini terdiri dari variabel tetap dan variabel berubah. Variabel tetap yang digunakan diantaranya komposisi geopolimer yang terdiri atas 80-wt% padatan (*fly ash*+ pasir), dan 20-wt.% cairan (Na_2SiO_3 + NaOH + grafena) dengan perbandingan *fly ash* : pasir yang digunakan 1:3 dan konsentrasi NaOH 10 M, rasio berat ($\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$) adalah 2,5 serta umur mortar selama 28 hari. Sementara untuk variabel berubah yang digunakan yaitu variasi konsentrasi grafena sebesar 0, 10, dan 20 mg/mL serta suhu pemanasan (ruang dan 80°C).

C.3 Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan dalam pengerjaannya, dimana pengerjaan dalam penelitian ini terdiri dari 4 tahap utama, diantaranya:

C.3.1 Persiapan Bahan Baku

Coal fly ash yang diperoleh dari PT. PLTU terlebih dahulu dikeringkan untuk menghilangkan kadar airnya, kemudian *fly ash* diayak pada ukuran 200 mesh, selanjutnya *fly ash* yang lolos ayakan tersebut dicampur dengan pasir dan diaduk hingga homogen (warna seragam) pada suhu ruang. Namun sebelum dicampur dengan *fly ash*, pasir terlebih dahulu dikeringkan dan diayak pada ukuran 30 mesh.

C.3.2 Persiapan Alkali Aktivator

Untuk membuat 500 mL larutan NaOH 10 M dari padatan NaOH dengan kadar 98% maka diperlukan sebanyak 204,081 gr padatan NaOH yang dilarutkan dalam *aquadest* hingga volume larutan 500 mL (variasi tanpa penambahan grafena). Pada variasi konsentrasi grafena sebesar (5, 10, 15 dan 20 mg/mL), cairan grafena yang digunakan berperan sebagai pengganti *aquadest* dalam melarutkan padatan NaOH.

C.3.3 Pembuatan Grafena

Grafena disintesis dari grafit murni, proses pembuatan grafena dilakukan dengan cara menambahkan surfaktan 18% (*sodium lauryl sulfate*) sebanyak 1,25 gr dan grafit sebanyak 10 gr ke dalam 500 mL *aquades*. Selanjutnya semua bahan tersebut dicampur kedalam blender yang dioperasikan selama 1 jam dengan kecepatan operasi putaran 1500 rpm. Untuk menjaga kondisi operasi, maka pada 5 menit pertama blender dihidupkan, kemudian blender dimatikan selama 1 menit, dan dihidupkan 1 menit kembali

hingga didapatkan total waktu operasi selama 1 jam.

C.3.4 Pembuatan Mortar Geopolimer

Pembuatan mortar geopolimer diawali dengan mencampurkan semua padatan yang terdiri dari fly ash dan pasir serta cairan yang terdiri dari Na₂SiO₃, NaOH dan grafena dengan perbandingan 80-wt%:20-wt%. Namun sebelum padatan dicampur dengan cairan, fly ash dan pasir mesti dicampur terlebih dahulu dengan perbandingan 1:3 hingga homogen yang ditandai dengan keseragaman warna antara fly ash dan pasir. Setelah itu cairan yang terdiri dari campuran Na₂SiO₃, NaOH dengan rasio 2,5 dan grafena dengan konsentrasi 5 mg/mL, 10 mg/mL, 15 mg/mL dan 20 mg/mL ditambahkan ke dalam padatan dan kemudian diaduk hingga bercampur homogen. Setelah seluruh padatan telah tercampur homogen, kemudian adonan geopolimer dicetak didalam mesin vibrator. Mortar geopolimer yang telah tercetak kemudian di rawat hingga umur 28 hari dan dilakukan pengujian karakteristik sifat dari mortar geopolimer.

D HASIL DAN PEMBAHASAN

D.1 Pengujian Sifat Mekanis

D.1.1 Hasil Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan dilakukan di Laboratorium Teknologi Bahan Universitas Riau. Pengujian kuat tekan ini dilakukan pada 10 sampel geopolimer secara duplo, dengan 3 variasi konsentrasi grafena (0 mg/mL, 10 mg/mL dan 20 mg/mL) dan 2 variasi suhu pemanasan (ruang dan 80°C). Representatif pengaruh penambahan grafena terhadap kuat tekan terlihat pada Tabel 1.

<i>Compressive Strength (MPa)</i>		
Konsentrasi (mg/ml)	Suhu	
	Ruang	80
0	6,247	13,926
10	12,751	18,351
20	15,228	29,544

Tabel 1. Kuat Tekan Mortar Geopolimer Pada Umur 28 Hari

Pada Tabel 1. dapat dilihat bahwa pada penambahan konsentrasi grafena yang sama, kuat tekan mortar geopolimer mengalami peningkatan yang signifikan dengan meningkatnya suhu *curing*. Peningkatan kuat tekan ini cenderung mengalami kenaikan yang relatif linear, dan kuat tekan tertinggi ditunjukkan oleh sampel yang ditambahkan grafena 20 mg/mL dan suhu *curing* 80 °C (29,545 MPa). Sementara, untuk nilai kuat tekan mortar geopolimer terendah ditunjukkan oleh sampel yang disintesis pada suhu ruang dan tanpa penambahan grafena, yaitu dengan nilai kuat tekan sebesar 6,247 MPa. Jika dilihat, kuat tekan akan meningkat seiring dengan meningkatnya jumlah (komposisi) grafena (Zheng, Han, Cui, Yu, & Ou, 2017). Hal ini disebabkan karena grafena dapat tersebar (dispersi) dengan baik di dalam komposit geopolimer (Yan et al., 2016). Dan grafena dapat mengisi seluruh ruang pori dalam komposit (Danial et al., 2019; Shamsaei et al., 2018). Hal ini didukung dari kecilnya ukuran diameter grafena yang disintesis.

Zheng et al (2017); Shamsaei et al (2018) dan Danial et al (2019) menyebutkan, penambahan jumlah grafena (GNP) yang berlebih justru dapat menyebabkan penurunan sifat mekanis dari geopolimer, hal tersebut karena ketika jumlah GNP (*Graphene Nanoplatelets*) yang berlebih ditambahkan, lembaran-lembaran grafena akan sangat mudah untuk

beraglomerisasi, besarnya luas permukaan, dan kuatnya interaksi gaya Van Der Waals $\pi - \pi$ tiap atom karbon menyebabkan kemudahan atom karbon tiap lembaran untuk bertupuk dan mengarah pada pembentukan gumpalan (aglomerisasi), sehingga proses penyebaran (dispersi) grafena (GNP) di seluruh komposit geopolimer tidak terjadi sempurna. Yan et al (2016) melakukan penelitian dengan melihat pengaruh variasi temperatur (25 °C – 80 °C) terhadap proses penyebaran grafena (GO) di dalam komposit geopolimer, hasil penelitian menunjukkan, semakin meningkatnya suhu pemanasan (80 °C) komposit grafena/geopolimer (GRGP), akan membuat grafena terdispersi secara homogen dan mengikat matriks geopolimer dengan baik. Hasil tersebut bersesuaian dengan hasil yang diperoleh dalam penelitian ini, dimana penambahan grafena yang sama dengan konsentrasi 20 mg/mL yang di *curing* pada suhu 80 °C menghasilkan nilai kuat tekan tertinggi.

Dari hasil keseluruhan dapat disimpulkan bahwa semakin meningkatnya konsentrasi grafena dan suhu *curing*, maka kuat tekan dari mortar geopolimer juga akan meningkat. Shamsaei et al (2018) menjelaskan, penambahan grafena pada beton yang diikuti dengan adanya perlakuan pemanasan (*curing*) akan mengarahkan struktur menjadi lebih teratur dan kompak, sehingga nilai kuat tekan dari material tersebut akan meningkat.

Peningkatan sifat mekanis dari komposit grafena/geopolimer (GRGP) juga telah disampaikan oleh Singh (2018), dalam penelitiannya menyebutkan ketika grafena ditambahkan ke dalam matrik geopolimer, grafena akan berperan sebagai pembungkus komposit, besarnya luas permukaan spesifik dan unggulnya sifat mekanis dari grafena akan meningkatkan

proses geopolimerisasi yang secara langsung juga akan meningkatkan sifat mekanis dari geopolimer.

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan yang dilakukan pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa dengan adanya penambahan grafena, mortar geopolimer yang dihasilkan telah memenuhi spesifikasi minimum untuk penggunaan mortar. Berdasarkan (ASTM C 270-07, 2007) mortar geopolimer yang dihasilkan telah memenuhi persyaratan untuk tipe mortar S yang dipersyaratkan struktur bawah tanah seperti pondasi, dinding penahan tanah, perkerasan, saluran dan *mainhole*.

D.1.2 Hasi Pengujian Porositas

Pengujian porositas dilakukan di Laboratorium Material Lanjut Universitas Riau. Proses pengujian ini dilakukan selama 2 x 24 jam pada 10 sampel, dengan 5 variasi konsentrasi grafena (0 mg/mL, 10 mg/mL dan 20 mg/mL) dan 2 variasi suhu pemanasan (ruang dan 80°C). Representatif pengaruh penambahan grafena terhadap porositas terlihat pada Tabel 2.

<i>Porosity (%)</i>		
Konsentrasi Grafena (mg/ml)	Suhu Pemanasan (°C)	
	Ruang	80
0	29,487	21,912
10	21,088	13,971
20	18,498	10,903

Tabel 2. Porositas Mortar Geopolimer Pada Umur 28 Hari

Pada Tabel 2 dapat dilihat bahwa nilai porositas mortar geopolimer menurun seiring dengan meningkatnya konsentrasi grafena. Danial *et al* (2019) menjelaskan, dengan adanya penambahan grafena di dalam matrik geopolimer akan menurunkan nilai porositas dari mortar geopolimer, hal ini karena ukuran

nanostruktur dari grafena dapat bergerak mengisi seluruh rongga (pori) dan ruang kosong di dalam matrik geopolimer. Pergerakan (dispersi) dari grafena ini dapat terjadi sempurna dengan adanya pemanasan (*curing*) yang diberikan, hal tersebut telah dibuktikan dari hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Yan *et al* (2016) dimana dalam penelitiannya melihat pengaruh variasi temperatur (25 °C – 80 °C) terhadap proses penyebaran grafena di dalam komposit geopolimer, hasil penelitian mereka menunjukkan, semakin meningkatnya suhu pemanasan (80 °C) akan membuat grafena terdispersi secara homogen di dalam matriks geopolimer dengan baik. Hasil ini bersesuaian dengan hasil yang didapatkan di dalam penelitian ini, dimana dari hasil yang diperoleh didapatkan nilai porositas terendah berada pada konsentrasi grafena 20 mg/mL dengan kondisi *curing* 80 °C sebesar 10,903 % dan nilai porositas tertinggi berada pada tanpa penambahan grafena yang di *curing* pada suhu ruang sebesar 29,487 %.

D.1.3 Hasi Pengujian Absorpsi Air

Pengujian absorpsi air dilakukan di Laboratorium Material Lanjut Universitas Riau. Proses pengujian ini dilakukan selama 2 x 24 jam pada 10 sampel, dengan 5 variasi konsentrasi grafena (0 mg/mL, 10 mg/mL dan 20 mg/mL) dan 2 variasi suhu pemanasan (ruang dan 80°C). Representatif pengaruh penambahan grafena terhadap porositas terlihat pada Tabel 3.

<i>Water Absorption (%)</i>		
Konsentrasi Grafena (mg/ml)	Suhu Pemanasan (°C)	
	Ruang	80
0	18,852	10,827
10	11,822	7,037
20	10,000	6,034

Tabel 3. Nilai Absorpsi Air Mortar Geopolimer Variasi Konsentrasi Grafena Vs Kuat Tekan Pada Umur 28 Hari

Pada Tabel 3 dapat dilihat bahwa nilai absorpsi air menurun seiring dengan besarnya konsentrasi dan suhu *curing* pada mortar geopolimer. Dari hasil yang didapatkan menunjukkan nilai penyerapan air terkecil berada pada konsentrasi grafena sebesar 20 mg/mL dengan suhu *curing* 80 °C sebesar 6,034 %. Sementara, nilai penyerapan air terbesar berada pada mortar geopolimer tanpa penambahan grafena yang di *curing* pada suhu ruang sebesar 18,852 %. Dalam penelitiannya Yan *et al* (2016) menyebutkan, grafena memiliki kemudahan untuk tersebar (dispersi) dengan baik di dalam komposit geopolimer, dengan adanya bantuan pemanasan (*curing*) yang diberikan akan membuat penyebaran grafena untuk mengisi seluruh ruang pori di dalam matrik menjadi lebih baik. Sehingga, porositas dari mortar geopolimer akan menurun. Shamsaei *et al* (2018) menjelaskan, penurunan porositas pada mortar geopolimer akan sebanding dengan nilai dari absorpsi air, dimana hasil sama-sama mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya konsentrasi grafena dan suhu *curing* pada mortar geopolimer. Secara umum terlihat bahwa dengan suhu *curing* pada proses pembuatan mortar geopolimer yang meningkat, maka nilai penyerapan air akan menurun. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Abdullah *et al* (2017) menyebutkan, nilai penyerapan air akan meningkat seiring dengan

meningkatnya suhu pemanasan (*sintering*) pada mortar geopolimer. Cheng-Yong *et al* (2017) menjelaskan, peningkatan ini disebabkan akibat adanya pelepasan sejumlah air berlebih pada mortar geopolimer, sehingga mengakibatkan terbentuknya ruang kosong di dalam matriks. Namun, berdasarkan Gambar 4 nilai penyerapan yang dihasilkan berbanding terbalik dari penelitian Abdullah *et al* (2017) dan Cheng-Yong *et al* (2017), peneliti meyakini proses pelepasan air yang terjadi selama *curing* berbeda dengan proses pelepasan yang terjadi selama *sintering* (200 °C – 800 °C). Rendahnya pelepasan air yang terjadi mengakibatkan proses peningkatan penyerapan air tidak nampak terlihat. Sehingga, peneliti menyimpulkan bahwa kecenderungan tren penurunan penyerapan air pada proses *curing* mortar geopolimer bersesuaian dengan nilai porositas yang dihasilkan. Shamsaei *et al* (2018) menjelaskan, penurunan porositas pada mortar geopolimer akan sebanding dengan nilai dari penyerapan air. Begitu pula dengan geopolimer yang ditambahkan grafena, pada Tabel 3 terlihat penyerapan air menurun dengan meningkatnya jumlah penambahan grafena. Hal ini disebabkan grafena memiliki kemudahan untuk tersebar (dispersi) dengan baik di dalam komposit geopolimer (Yan *et al.*, 2016).

Nilai penyerapan air memiliki pengaruh terhadap kekuatan sifat mekanis dari mortar geopolimer, dimana dalam penelitian yang dilakukan oleh Sotelo-piña, Aguilera-gonzález and Martínez-luévanos (2019) menyebutkan, geopolimer dengan penyerapan air yang tinggi akan memiliki kuat tekan yang rendah dan sebaliknya nilai penyerapan air yang rendah akan memiliki kuat tekan yang tinggi. Porositas dan penyerapan air merupakan dua

parameter uji yang sama-sama memiliki keterkaitan dalam pengujian, dari hasil pengamatan yang didapatkan terlihat ketika nilai porositas dari mortar geopolimer menurun, maka nilai dari penyerapan air pada mortar geopolimer juga akan menurun. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Shamsaei *et al* (2018) menyebutkan, penambahan partikel nanomaterial seperti grafena dapat meningkatkan daya tahan beton dan mengoptimalkan struktur pori yang ada, sehingga dari pengoptimalan tersebut dapat mengurangi nilai permeabilitas dan penyerapan air dari komposit mortar geopolimer. Ini bersesuaian dengan hasil yang diperoleh dalam penelitian ini, dimana ketika ukuran porositas dari mortar berkurang, maka nilai penyerapan air menjadi berkurang, ini disebabkan semakin sedikitnya jumlah air yang dapat menembus celah (rongga) masuk ke dalam matriks geopolimer.

E. KESIMPULAN DAN SARAN

E.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, dapat diambil kesimpulan:

1. Pembuatan mortar geopolimer dengan memanfaatkan limbah *fly ash* batubara dengan aktivator NaOH serta FLG sebagai material penguat yang disintesis dengan metode TASE telah berhasil dilakukan.
2. Sifat mekanis terbaik terdapat pada penambahan grafena 20 mg/mL dengan *curing* pada suhu 80 °C, dimana nilai kuat tekan yang dihasilkan sebesar 29,544 MPa, porositas sebesar 10,903 % dan absorpsi air sebesar 6,034 %.
3. Semakin bertambahnya jumlah konsentrasi grafena, maka nilai kuat tekan mortar semakin meningkat,

dan porositas serta absorpsi air semakin menurun. Hal ini disebabkan adanya mekanisme penjabaran retakan serta adanya proses pengisian pori dan ruang kosong di dalam matriks oleh lembaran grafena.

E.2 Saran

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

1. Memperbesar jumlah cairan diatas 20 % pada mix design pembuatan mortar geopolimer
2. Perlu dilakukan penambahan agregat kasar sebagai pengisi matriks geopolimer guna meningkatkan nilai kuat tekan.

Daftar Pustaka

- Abdullah, A., Al Bakri Abdullah, M. M., Hussin, K., & Tahir, M. F. M. (2017). Effect of different sintering temperature on fly ash based geopolymer artificial aggregate. *AIP Conference Proceedings*, 1835, 0–7. <https://doi.org/10.1063/1.4981872>
- American Society of Testing and Materials. ASTM C642 Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete. , ASTM International § (2006).
- ASTM C 270-07. (2007). Standard Specification for Mortar for Unit Masonry. *United States: American Society for Testing and Material.*, 2–13. <https://doi.org/10.1520/C0270-14A>.Copyright
- Cheng-Yong, H., Yun-Ming, L., Abdullah, M. M. A. B., & Hussin, K. (2017). Thermal Resistance Variations of Fly Ash Geopolymers: Foaming Responses. *Scientific Reports*, 7(February), 1–11.

- <https://doi.org/10.1038/srep45355>
- Danial, N. S., Che Halin, D. S., RamLi, M. M., Abdullah, M. M. A., Mohd Salleh, M. A. A., Mat Isa, S. S., ... Mazlan, N. S. (2019). Graphene geopolymer hybrid: A review on mechanical properties and piezoelectric effect. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 572, 012038. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/572/1/012038>
- Emi, M. (2017). TINJAUAN KUAT TEKAN DAN MODULUS ELASTISITAS BETON PADA CAMPURAN DIATOMAE SEBAGAI ADITIF. *Teras Jurnal*. <https://doi.org/10.29103/tj.v6i2.97>
- Johra, F. T., Lee, J. W., & Jung, W. G. (2014). Facile and safe graphene preparation on solution based platform. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 20(5), 2883–2887. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2013.11.022>
- Kartick, B., Srivastava, S. K., & Srivastava, I. (2013). Green synthesis of graphene. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 13(6), 4320–4324. <https://doi.org/10.1166/jnn.2013.7461>
- Malkawi, A. B., Fadhil, M., Fauzi, A., & Almattarneh, H. (2016). Effects of Alkaline Solution on Properties of the HCFA Geopolymer Mortars. *Procedia Engineering*, 148, 710–717. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.581>
- Novoselov, K. S., Geim, A. K., Morozov, S. V., Jiang, D., Zhang, Y., Dubonos, S. V., ... Firsov, A. A. (2004). Electric field in atomically thin carbon films. *Science*. <https://doi.org/10.1126/science.1102896>
- Nugroho, E. K. O. H. (2010). *Analisis Porositas dan Permeabilitas Beton dengan Bahan Tambah Fly Ash untuk Perkerasan Kaku (Rigid Pavement) LEMBAR PERSETUJUAN Analisis Porositas dan Permeabilitas Beton dengan Bahan Tambah Fly Ash untuk Perkerasan Kaku (Rigid Pavement)*.
- Ramujee, K. (2016). *Strength and Setting Times of F-Type Fly Ash-Based Geopolymer Mortar*. 09(03), 360–365. Retrieved from www.cafetinnova.org
- Ranjbar, N., Mehrali, M., Mehrali, M., Alengaram, U. J., & Jumaat, M. Z. (2015). Graphene nanoplatelet-fly ash based geopolymer composites. *Cement and Concrete Research*, 76, 222–231. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2015.06.003>
- Saafi, M., Tang, L., Fung, J., Rahman, M., & Liggat, J. (2015). Enhanced properties of graphene/fly ash geopolymeric composite cement. *Cement and Concrete Research*, 67, 292–299. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2014.08.011>
- Shamsaei, E., de Souza, F. B., Yao, X., Benhelal, E., Akbari, A., & Duan, W. (2018). Graphene-based nanosheets for stronger and more durable concrete: A review. *Construction and Building Materials*, 183, 642–660. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.06.201>
- Singh, N. B. (2018). Fly ash-based geopolymer binder: A future construction material. *Minerals*, 8(7). <https://doi.org/10.3390/min8070299>
- Sotelo-piña, C., Aguilera-gonzález, E. N., & Martínez-luévanos, A. (2019). *Geopolymers: Past, Present, and Future of Low Carbon Footprint Eco-*

materials. 2765–2785.

- Syakir, N., Nurlina, R., Anam, S., Aprilia, A., & Hidayat, S. (2015). *Kajian Pembuatan Oksida Grafit untuk Produksi Oksida Grafena dalam Jumlah Besar*. XIX(November), 26–29.
- Varrla, E., Paton, K. R., Backes, C., Harvey, A., Smith, R. J., McCauley, J., & Coleman, J. N. (2014). Turbulence-assisted shear exfoliation of graphene using household detergent and a kitchen blender. *Nanoscale*, 6(20), 11810–11819.
<https://doi.org/10.1039/c4nr03560g>
- Yan, S., He, P., Jia, D., Yang, Z., Duan, X., Wang, S., & Zhou, Y. (2016). Effects of treatment temperature on the reduction of GO under alkaline solution during the preparation of graphene/geopolymer composites. *Ceramics International*, 42(16), 18181–18188.
<https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2016.08.134>
- Zheng, Q., Han, B., Cui, X., Yu, X., & Ou, J. (2017). Graphene-engineered cementitious composites: Small makes a big impact. *Nanomaterials and Nanotechnology*, 7, 1–18.
<https://doi.org/10.1177/1847980417742304>