

PEMBUATAN BETON BERBASIS OPC DENGAN PENAMBAHAN *TURBULENCE ASSISTED SHEAR EXFOLIATION (TASE) GRAPHENE*

Febri Riandi¹⁾, Amun Amri²⁾, Evelyn³⁾

1) Mahasiswa Program Studi Teknik Kimia, 2,3) 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, Pekanbaru, 28293
E-mail : riandifebri99@gmail.com

ABSTRACT

Concrete is the primary raw material for construction which consists of constituent materials in the form of portland cement, fine aggregate, coarse aggregate, water and with or without added materials. Graphene is a nano-sized and strong material. The use of graphene can be used as an additive (admixture or additive) to improve the quality and quality of concrete. This research aims to make concrete based on Ordinary Portland Cement (OPC) with the addition of graphene nanosheets (GNS), as well as to study the effect of increasing the number of graphene nanosheets (GNS) and differences in sand size on the mechanical properties and morphology of the resulting concrete. Concrete manufacture begins with preparing a graphene solution which is made by synthesizing pure graphite through the TASE method. Then the concrete is made by mixing all the materials to be used manually with the ratio of raw materials (cement: sand: gravel: water) is 1: 2: 3: 0.6 until homogeneous. The results of testing the mechanical properties of concrete show that the highest compressive strength is 21.75 MPa obtained from variations in the addition of 5% graphene with sand size gradations, namely mix (200 <x <100 with 100 <x12), the lowest porosity and water absorption is 9% and 3.94% was obtained from the variation of 5% graphene addition with sand size gradations, namely mix (200 <x <100 with 100 <x12), while the SEM analysis results showed that the higher the addition of graphene to the concrete matrix can reduce the porosity value of the concrete so that can improve the mechanical properties of concrete.

Keywords: *concrete, geopolymer, graphene, OPC, TASE*

1. PENDAHULUAN

Beton merupakan suatu bahan campuran dari beberapa material, yang bahan utamanya terdiri dari medium campuran antara semen, agregat halus, agregat kasar, air serta bahan tambahan lain dengan perbandingan tertentu yang dipergunakan untuk bahan utama dalam konstruksi bangunan. Pemilihan beton sebagai bahan utama dalam konstruksi didasarkan oleh sifat-sifat beton itu sendiri, diantaranya: harganya relatif murah, memiliki kekuatan tekan tinggi, serta mempunyai sifat tahan terhadap perkaratan ataupun pembusukan oleh kondisi lingkungan (Haryanto, 2012).

Beton yang dipakai secara luas dibuat dengan menggunakan *Ordinary Portland Cement* (Haryanto, 2012). Namun, kelemahan utama beton adalah sifatnya yang rapuh yang dikaitkan dengan resistensi yang buruk terhadap pembentukan retak. Hal ini tergantung pada campuran proporsi agregat, semen dan air yang digunakan pada pembuatan beton (Chuah *et al.*, 2014). Oleh karena itu, diperlukan suatu inovasi untuk bahan bangunan yang memiliki keunggulan yang lebih baik dibandingkan dengan bahan bangunan yang sudah ada selama ini sehingga bisa meningkatkan sifat mekanis beton dan kualitas beton

Graphene adalah jenis material baru berukuran nano dan kuat. *Graphene* terbentuk dari susunan atom-atom karbon *monolayer* dua dimensi yang membentuk struktur kristal heksagonal menyerupai sarang lebah. *Graphene* memiliki sifat unik yang unggul dibandingkan dengan material lain. *Graphene* mempunyai ketebalan satu atom dan bersifat semi logam. Struktur yang terdiri dari *monolayer* membuat *graphene* sangat konduktif dengan mobilitas pembawa muatan hingga $200.000 \text{ cm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$ (Syakir *et al.*, 2014).

Beton dengan penambahan zat aditif berupa *graphene* menjadi inovasi baru-baru ini untuk meningkatkan sifat mekanik dari pada beton itu sendiri. Penambahan campuran aditif dimaksudkan untuk mendapatkan beton yang sebaik-baiknya, baik dalam segi kuat tekan tinggi, kemudahan pengerjaan, tahan lama, murah dan tahan aus atau rapuh (Tjokrodinuljo, 1996). Beton-*graphene* merupakan konsep dan bahan baru yang dapat dianggap sebagai pengembangan teknologi di bidang industry konstruksi bangunan. Beton-*graphene* adalah teknologi baru beton yang menggunakan *graphene* untuk meningkatkan sifat mekanis beton. *Graphene* ditambahkan selama proses pencampuran sehingga akan meningkatkan sifat mekanis beton.

Berdasarkan sifat mekanik dan kinerja daya tahan yang baik dari *graphene* menjadi alasan pada penelitian ini menggunakannya untuk mengembangkan beton dengan sifat mekanik yang lebih baik. Penelitian ini mencoba membuat beton berbasis *Ordinary Portland Cement* (OPC) dengan penambahan *graphene Nanosheets* (GNS) sebagai zat aditif dari proses *Turbulence Assisted Shear Exfoliation* (TASE).

2. LANDASAN TEORI

2.1 Beton

Beton merupakan fungsi dari bahan penyusunannya yang terdiri dari bahan semen hidrolik (*portland cement*) atau

semen hidrolik lain, agregat kasar, agregat halus, air dan dengan atau tanpa bahan tambah (*admixture* atau *additive*) yang membentuk massa padat (SNI 03-2847-2002). Beton sangat banyak dipakai secara luas sebagai bahan bangunan. Perencanaan campuran beton (*mix design*) dimaksudkan untuk mendapatkan beton yang sebaik-baiknya, baik dalam segi kuat tekan tinggi, kemudahan pengerjaan, tahan lama, murah dan tahan aus (Tjokrodinuljo, 1996). Kualitas dan mutu dari pada suatu beton sangat tergantung pada komponen - komponen penyusun atau bahan dasar beton, bahan tambahan, serta cara pembuatan dan juga peralatan - peralatan yang digunakan. Kekuatan dari struktur beton menentukan umur suatu bangunan. Selain menjadi struktur utama, beton memiliki sifat plastis yang memungkinkan untuk dicetak sesuai dengan bentuk yang diinginkan. Beton memiliki kekuatan tekan yang tinggi dan tidak ada penurunan (Du *et al.*, 2016).

2.2 Bahan Penyusun Beton

2.2.1 Semen *Portland*

Semen *Portland* ialah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis dengan gips sebagai bahan tambahan (Departemen Perindustrian RI, 1980).

2.2.2 Agregat

Agregat merupakan butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton, 70% volume mortar atau beton diisi oleh agregat. Ada 2 jenis agregat, yang mempunyai ukuran butir besar disebut agregat kasar, dengan ukuran lebih dari 4,75 mm, dan yang mempunyai ukuran butir yang kecil disebut agregat halus, dengan ukuran kurang dari 4,75 mm.

2.2.3 Air

Air merupakan bahan dasar pembuatan beton yang penting dan harganya paling

murah. Air diperlukan untuk bereaksi dengan semen, saat bereaksi dengan semen, air yang diperlukan sekitar 25 persen dari berat semen, atau penggunaan faktor air semen (FAS) berkisar antara 0,4% - 0,6% atau maksimum 0,6% dari berat semen.

2.3 Graphene

Graphene adalah material berukuran nano yang kuat. *Graphene* terbentuk dari susunan atom-atom karbon (*monolayer*) dua dimensi yang membentuk struktur kristal heksagonal menyerupai sarang lebah. *Graphene* memiliki sifat unik dan unggul dibandingkan dengan material lain. *Graphene* mempunyai ketebalan satu atom dan bersifat semi logam. mobilitas elektron *graphene multilayer* sekitar $15000 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ pada suhu 300 K, sedangkan untuk *graphene monolayer* antara $3000\text{-}10000 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$. Kecepatan transfer elektron yang tinggi pada suhu ruang sebesar $200.000 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$, konduktivitas listrik yang tinggi ($0,96 \times 10^6 \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$), nilai konduktifitas termal $5000 \text{ Wm}^{-1}\text{K}$, transparansi optikal 97,7%, modulus elastisitas 1.1 Tpa, dan kekakuan 130 GPa. *Graphene* juga memiliki luas permukaan yang spesifik ($2630 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$), Pada daerah energi 0,1 eV sampai dengan 0,6 eV *graphene monolayer* memiliki konduktansi universal $6,08 \times 10^{-5} \Omega^{-1}$ dan memiliki nilai regangan yang bersifat *reversible* serta memiliki kekuatan tekanan terhadap medan magnet masing-masing sebesar 20% dan 300 Tesla (Dimitros *et al.*, 2015). Sifat-sifat yang unik dimiliki *graphene* menjadikan dia salah satu material ideal yang bisa diaplikasikan keberbagai bidang teknologi.

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Bahan Penelitian

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini yaitu semen *portland* jenis PCC, pasir sebagai agregat halus, aquades, krikil sebagai agregat kasar dan grafit murni digunakan untuk mensintesis

graphene. Bahan lain yang digunakan yaitu surfaktan (*sodium laury sulfate*).

3.2 Variabel Penelitian

Variabel dalam penelitian ini terdiri dari variabel tetap dan variabel berubah. Variabel tetap yang digunakan diantaranya rasio berat semen:pasir:krikil:air (1:2:3:0,6), konsentrasi *graphene* 20 mg/ml serta curing waktu selama 28 hari. Sedangkan variabel berubah yang digunakan yaitu variasi Variasi penambahan persen berat *graphene* 20 mg/ml (0%, 1%, 3%, dan 5%) dan Variasi gradasi ukuran ayakan pasir ($200 < x < 100$ mesh; $100 < x < 12$ mesh, dan mix kedua ukuran pasir $200 < x < 100$ mesh dan $100 < x < 12$ mesh).

3.3 Prosedur Penelitian

3.3.1 Persiapan Bahan Baku

Bahan baku berupa pasir dan krikil dikeringkan terlebih dahulu untuk mengurangi kadar air yang terkandung dalam bahan, proses ini dilakukan dengan cara menjemur pasir dan krikil di bawah sinar matahari. Kemudian pasir disaring pada ayakan sesuai dengan variabel.

3.3.2 Pembuatan Larutan Graphene

Graphene disintesis dari grafit murni, proses sintesis ini dibuat dengan metode *Turbulance Assisted Shear Exfoliation* (TASE). Pada proses TASE ini menggunakan larutan surfaktan (SLS) sebanyak 1,25 gr dengan tingkat konsentrasi 2,5 mg/ml untuk larutan *graphene* 20 mg/ml dan penambahan aquades sampai volume total 500 ml. Pada proses pengelupasan (*exfoliation*) untuk konsentrasi 20 mg/ml, serbuk grafit ditimbang sebanyak 10 gram kemudian dicampur dengan surfaktan (SLS) dan aquades yang kemudian akan diproses di dalam blender. Blender dioperasikan pada kecepatan maksimal dengan lama pengoperasian yaitu 60 menit. Untuk menjaga kondisi proses di dalam blender smaka untuk pengoperasian yaitu 1 menit *on* dan 1 menit *off* supaya blender tidak

panas. Setelah pengelupasan grafit selesai, *graphene* yang dihasilkan didiamkan sampai buih didalam tabung menghilang dan larutan *graphene* dipindahkan ke wadah gelas piala. Larutan *graphene* siap digunakan dalam penelitian (Varrla *et al.*, 2014).

3.3.3 Proses Pembuatan Beton

Pembuatan beton ini dilakukan secara manual dengan mencampurkan semua bahan yang akan digunakan dengan rasio semen : pasir : krikil : air adalah 1 : 2 : 3 : 0,6. Proses pencampuran dilakukan secara manual dengan urutan pencampuran yaitu pengadukan pasir dan semen *portland* kemudian penambahan air yang telah bercampur dengan *graphene*, semua bahan di campur secara merata dengan ditandai dengan adonan menjadi pasta. Setelah selesai dicampur, pasta beton tersebut kemudian dimasukkan ke dalam cetakan logam yang berbentuk kubus dengan ukuran (10 x 10 x 10) cm³. Adonan dipadatkan agar campuran mengisi seluruh cetakan, setelah tercetak kemudian adonan berbentuk kubus ini dikeringkan dalam suhu ruangan selama 24 jam. Setelah 24 jam sampel dilepas dari cetakan, kemudian sampel dibiarkan dalam suhu kamar sampai tiba waktu *curing* (pengetesan) yaitu 28 hari dihitung dari pengeluaran sampel dari cetakan untuk dilakukan pengujian beton yang dihasilkan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Kuat Tekan (*Compressive Strength Test*)

Pada penelitian ini dilakukan pengujian kuat tekan terhadap beton yang dihasilkan dengan variasi penambahn persen berat *graphene* (0%; 1%; 3% dan 5%) serta gradasi ukuran pasir (200<x<100 mesh; 100<x<12 mesh; dan Mix (200<x<100 mesh dengan 100<x<12mesh)). Kuat tekan dari beton diuji setelah beton berumur 28 hari. Pengujian kuat tekan dilakukan di Laboratorium Teknologi Bahan Fakultas Teknik, Universitas Riau. Untuk

menggambarkan hasil pengujian kuat tekan terhadap kedua variasi tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Kuat Tekan

Gradasi Ukuran Pasir (Mesh)	%wt <i>Graphene</i>	Kuat Tekan (%)
200<x<100	0	12,75
	1	14,75
	3	17
	5	17,75
100<x<12 mesh	0	13,75
	1	15,25
	3	17,75
	5	19,25
Mix (200<x<100 mesh dengan 100<x<12 mesh))	0	15
	1	16,75
	3	18,5
	5	21,75

Tabel 1 menunjukkan hasil antara kuat tekan terhadap penambahan persen berat *graphene* pada beberapa variasi gradasi ukuran pasir. Dari Tabel 1 secara umum terlihat bahwa kuat tekan beton mengalami peningkatan seiring peningkatan penambahan persen berat *graphene* untuk semua variasi gradasi ukuran pasir. Peningkatan kuat tekan ini cenderung mengalami kenaikan yang signifikan, dan kuat tekan tertinggi ditunjukkan oleh sampel pada penambahan *graphene* 5% sebesar 15 MPa; 16,75 MPa; 18,5 MPa; dan 21,75 MPa. Sementara untuk kuat tekan beton terendah ditunjukkan oleh sampel pengontrol (0% *graphene*) yaitu sebesar 12,75 MPa; 14,75 MPa; 17 MPa; dan 17,75 MPa.

Peningkatan kuat tekan dari beton setelah penambahan *graphene* disebabkan karena *graphene* memiliki sifat mekanik yang unggul dan dapat tersebar (dispersi) dengan baik di dalam matrik sehingga akan memperbesar nilai kapasitas kompresi tekanan sampai batas tertentu sebelum terjadi keretakan pada matrik mortar. Selain itu, penambahan *graphene* memiliki dampak penting terhadap peningkatan sifat mekanis beton hal ini

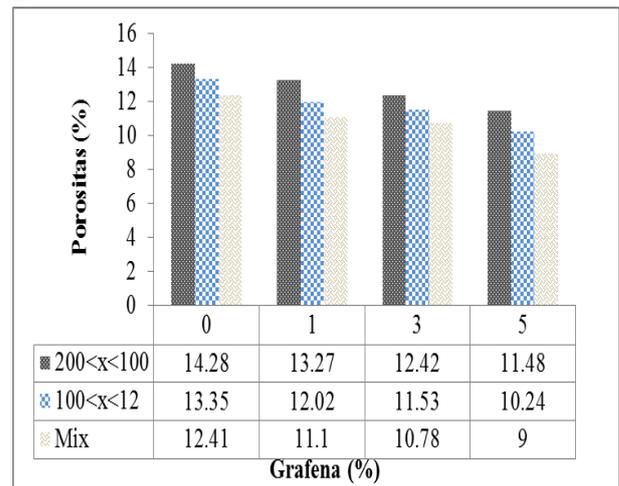
dikarenakan *graphene* memiliki bentuk morfologi dua dimensi yang unik dan dapat mengisi rongga-rongga kosong dalam matriks sehingga dapat meningkatkan sifat mekanis beton (Du *et al.*, 2016; Wang *et al.*, 2016). Hasil penelitian ini bersesuaian dengan penelitian yang dilakukan oleh Liu *et al.*, (2016), dalam penelitiannya menyebutkan, *graphene* yang memiliki besar luas permukaan spesifik dan unggulnya sifat mekanis dari *graphene* akan meningkatkan sifat mekanis dari mortar serta ketika *graphene* ditambahkan ke dalam matriks *graphene* dapat berperan sebagai pembungkus komposit. Dalam penelitian Devy and Khan (2020) juga mengatakan bahwa ketika penggunaan *graphene* dalam beton, *graphene* akan bertindak sebagai katalis dan membantu mempercepat proses hidrasi semen tanpa menyebabkan perubahan apa pun pada gugus fungsi di nanosheets *graphene*. *Graphene* yang memiliki luas permukaan yang tinggi akan mengembangkan ikatan kovalen yang kuat antarmuka matriks beton. Artinya, dengan masuknya *graphene* ke dalam matriks beton maka akan menghasilkan peningkatan kuat tekan.

Dalam penelitian Chuah *et al.*, (2014) mengatakan bahwa penambahan sejumlah *graphene* ke dalam matriks beton memiliki pengaruh baik terhadap sifat mekanis beton, dimana akan meningkatkan kekuatan gaya Van Der Waal's antar nanopartikel, penambahan *graphene* akan mengisi ruang antar molekul yang renggang dari beton tersebut dan dengan keunggulan sifat yang dimiliki *graphene* maka proses ikatan antar molekul *graphene* juga akan meningkatkan sifat mekanis dari beton.

4.2 Pengujian Porositas (*Porosity Test*)

Porositas merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kekuatan beton. Jumlah pori yang terkandung dalam beton sangat mempengaruhi kepadatan dari suatu beton. Pada penelitian ini

dilakukan pengujian porositas terhadap beton yang dihasilkan dengan variasi persen berat *graphene* (0%; 1%; 3% dan 5%) serta gradasi ukuran pasir (200<x<100 mesh; 100<x<12 mesh; dan Mix 200<x<100 mesh dengan 100<x<12 mesh). Untuk memperjelas hasil pengujian porositas beton dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Pengujian Nilai Porositas

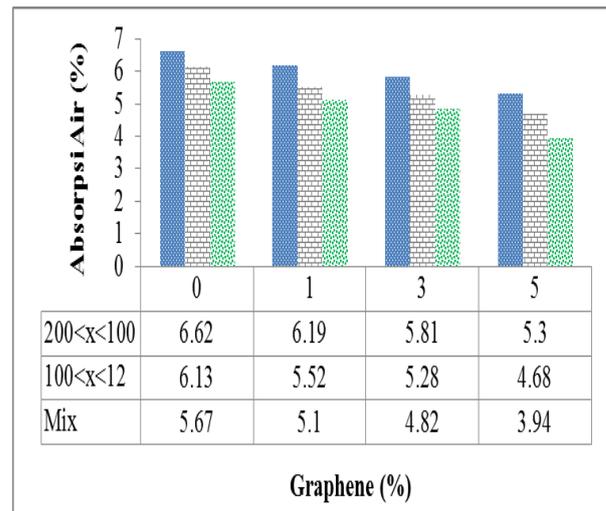
Gambar 1 merupakan grafik hubungan antara porositas beton terhadap penambahan persen berat *graphene* pada beberapa variasi gradasi ukuran pasir. Pada Gambar 1 dapat dilihat bahwa nilai porositas beton menurun seiring dengan adanya penambahan persen berat *graphene*. Adanya penambahan *graphene* ke dalam matriks beton akan menurunkan porositas dan meningkatkan kuat tekan dari beton, hal ini dikarenakan *graphene* memiliki ukuran nanostruktur yang dapat dengan mudah mengisi dan tersebar (dispersi) ke dalam pori atau rongga kosong dari matriks beton tersebut sehingga beton akan menjadi lebih padat dan memiliki durabilitas yang tinggi (Chuah *et al.*, 2014; Yan *et al.*, 2015). Berdasarkan Gambar 1 terlihat bahwa nilai porositas terendah ditunjukkan oleh sampel dengan penambahan *graphene* 5% yaitu sebesar 11,48%; 10,24%; dan 9%. Nilai porositas yang semakin menurun menunjukkan bahwa beton tersebut semakin padat dan memiliki durabilitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan

porositas pada variasi yang lainnya. Hasil penelitian ini bersesuaian dengan penelitian sebelumnya, dimana penambahan *graphene* akan mengisi ruang kosong antar molekul dari mortar tersebut dan dengan keunggulan sifat yang dimiliki *graphene* maka proses ikatan antar molekul *graphene* juga akan meningkatkan sifat mekanis dari mortar (Zhong *et al.*, 2017, Devy and Khan, 2020). Dan *graphene* dapat membantu mempercepat proses hidrasi semen serta dapat meningkatkan ikatan yang terjadi pada matrik beton (Devy and Khan, 2020).

Untuk mengindikasikan bahwa *graphene* benar-benar berkontribusi dalam pori-pori yang terdapat di dalam matriks beton, dapat dilihat pada Gambar 1, dimana sampel tanpa penambahan *graphene* (sampel pengontrol (0%)) menunjukkan penurunan yang tidak terlalu signifikan dibanding dengan sampel dengan penambahan *graphene*, hal ini dikarenakan tidak adanya penambahan *graphene* sebagai material nanostruktural yang mengisi serta tersebar (dispersi) di ruang kosong dan pori di dalam matriks.

4.3 Pengujian Absorpsi Air (*Water Absorption Test*)

Pengujian absorpsi air dilakukan untuk mengetahui besarnya penyerapan air oleh beton. Pengujian ini dilaksanakan untuk melihat kemampuan beton terhadap besarnya penyerapan air sehingga akan mempengaruhi kinerja mutu dari beton. Pengujian ini dilakukan terhadap beton yang dihasilkan dengan variasi persen berat *graphene* (0%; 1%; 3% dan 5%) serta gradasi ukuran pasir (200<x<100 mesh; 100<x<12 mesh; dan Mix 200<x<100 mesh dengan 100<x<12 mesh). Untuk memperjelas hasil pengujian penyerapan air dan menggambarkan hubungan kedua variasi tersebut dapat digambarkan pada Gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2. Hasil Uji Penyerapan Air

Pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa nilai penyerapan air menurun seiring dengan besarnya penambahan persen berat *graphene* dan variasi gradasi ukuran pasir pada beton. Berdasarkan Gambar 2 dapat dilihat bahwa nilai penyerapan air terkecil berada pada sampel dengan penambahan *graphene* 5% yaitu sebesar 5,3%; 4,68%; dan 3,94%. Sedangkan, nilai penyerapan air terbesar berada pada beton tanpa penambahan *graphene* 0% yaitu sebesar 6,38%; 5,99%; dan 5,67%. Penurunan nilai penyerapan air menunjukkan bahwa beton memiliki struktur matriks yang padat dan kompak, hal inilah yang akan mengurangi pori-pori yang terbentuk sehingga menyebabkan nilai penyerapan air menjadi menurun. Peningkatan struktur dari matriks beton disebabkan akibat adanya penambahan *graphene*. Dengan adanya penambahan *graphene* dapat mengurangi pori-pori yang terbentuk, sehingga porositas dari beton akan menurun. Dengan kekuatan mekanis dan fleksibilitas yang dimiliki *graphene*, meningkatkan sifat mekanik serta dapat mengurangi porositas pada matriks sehingga penyerapan air akan menurun (Saafi *et al.*, 2014). Menurut Habibnejad *et al.*, (2020) menyebutkan, penambahan *graphene* dapat meningkatkan daya tahan beton dan mengoptimalkan struktur pori yang ada, sehingga dapat mengurangi nilai penyerapan air hingga 40%. Hasil tersebut

bersesuaian dengan hasil yang diperoleh dalam penelitian ini, dimana ketika ukuran porositas berkurang, maka nilai penyerapan air menjadi berkurang, ini disebabkan semakin sedikitnya jumlah air yang dapat menembus rongga masuk kedalam matriks beton.

Dalam penelitiannya Chuah *et al.*, (2014) menyebutkan, penambahan *graphene* ke dalam matriks beton memiliki pengaruh baik terhadap sifat mekanis beton, dimana *graphene* akan mengisi ruang kosong dari matriks beton, sehingga akan meningkatkan kepadatan dari matriks dan dengan keunggulan sifat yang dimiliki *graphene* juga akan meningkatkan gaya antar partikel yang membuat beton memiliki durabiliti yang tinggi, sehingga porositas dari beton akan menurun. Hasil penelitian ini bersesuaian dengan penelitian sebelumnya dimana penyerapan air menurun dengan meningkatnya jumlah penambahan *graphene*. Hal ini disebabkan *graphene* memiliki kemudahan untuk tersebar (dispersi) dan mengisi rongga-rongga dengan baik di dalam matrik beton (Yan *et al.*, 2014; Du *et al.*, 2016).

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Semakin meningkat penggunaan persen berat *graphene* dan gradasi ukuran pasir yang bervariasi, maka nilai kuat tekan beton semakin meningkat, dan nilai porositas serta pemyerapan air menurun.
2. Sifat mekanis yang terbaik beton terdapat pada variasi persen *graphene* sebesar 5% dengan gradasi ukuran pasir yaitu *mix* (bervariasi).

5.2 Saran

1. Untuk penelitian selanjutnya disarankan untuk menyelidiki lebih lanjut batasan penggunaan *graphene* untuk menentukan nilai optimum penambahan *graphene*

sehingga memenuhi standar mutu beton.

2. Pada saat pembuatan *graphene* peneliti selanjutnya diharapkan dapat membandingkan metode pembuatan *graphene* yang lain untuk melihat metode mana yang paling efektif untuk peningkatan sifat mekanik beton.

DAFTAR PUSTAKA

- Chuah, S., Pan, Z., Sanjayan, J.G., Wang, C.M., and Duan, W.H. (2014). Nano Reinforce Cement And Concrete Composites And New Perspective From Graphene Oxide. *Constr. Build. Mater.* 73, 113–124.
- Departemen Perindustrian Republik Indoneisa. (1980). *Standar Industri Indonesia: Mutu dan Cara Uji Agregat Beton*. Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Devi, S.C., and Khan R.A. (2020). Effect of Graphene Oxide on Menchanical and Durability Performance of Concrete. *Constr. Build. Mater.* 27, 101007.
- Du, H., Gao, H. J., and Pang, S. D. (2016). Cement and Concrete Research Improvement In Concrete Resistance Against Water and Chloride Ingress by Adding Graphene Nanoplatelet. *Cement and Concrete Research.*83, 114-123.
- Dimitros, G., Papageorgiou, A., Kinloch, R.J., and Young. (2015). “Graphene/Elastomer Nanocomposite”, *Elsevier*, 95 : 460-484.
- Habibnejad K.A., Ghoddousi, P., Shirzadi J.A. A., Oraie, M. A., and Ashegh, H. (2020). Graphene oxide for surface treatment of concrete: A novel method to protect concrete. *Construction and Building Materials.* 66, 99–173.
- Haryanto, H.T. (2012). Analisis Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah Beton

- dengan Bahan Tambah Serbuk Arang *Briket* dan *Bestmittel*. Bahan. *Skripsi*, Universitas Muhammadiyah surakarta.
- Liu, Q., Xu, Q., Yu, Q., Gao, R., and Tong, T. (2016). Experimental Investigation on Mechanical and Piezoresistive Properties of Cementitious Material Containing Graphene and Graphene Oxide. *Construction and Building Materials*. 127, 565-576.
- Saafi, M., Tang, L., Fung, J., and Rahman, M. (2014). Graphene/Fly Ash Geopolymeric Composites as Self-Sensing Structural Materials. *Smart Materials and Structures*, 065006, 2–11.
- Syakir, N., Nurlina, R., Anam, S., Aprilia, A., and Hidayat, S. (2015). Kajian Pembuatan Oksida Grafit untuk Produksi Oksida Grafena dalam Jumlah Besar. *Jurnal Fisika Indonesia*, xix (November), 26–29.
- Tjokrodimuljo, K. (1996). Teknologi Beton. *Skripsi*. Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Varrla, E., Paton, K. R., Backes, C., Harvey, A., Smith, R. J., McCauley, J., and Coleman, J. N. (2014). Turbulence-assisted shear exfoliation of graphene using household detergent and a kitchen blender. *Nanoscale*, 6 (20), 11810–11819
- Wang, B., Jiang, R., and Wu, Z. (2016). Investigation of The Mechanical Properties and Microstructure of Graphene Nanoplatelet-Cement Composite. *Nanomaterials*, 200, 2–15.
- Zhong, J., Zhou, G., He, P., and Yang, Z. (2017). 3D Printing Strong and Conductive Geo-polymer Nanocomposite Structures Modified by Graphene Oxide. *Elsevier*, 117(2017), 421-426.
- Yan, S., He, P., Jia, D., Yang, Z., Duan, X., Wang, S., and Zhou, Y. (2015). In Situ Fabrication and Characterization of Graphene/Geopolymer Composites. *Ceramics Internationals*, 05, 1–28.