

**PENGARUH RASIO SOLID LIQUID DAN PENAMBAHAN GRAPHENE
NANOSHEETS TERHADAP KUAT TEKAN MORTAR GEOPOLIMER BERBASIS
PALM OIL FUEL ASH (POFA) DAN-FLYASH BATU BARA**

Muhammad Zaqi¹⁾, Amun Amri²⁾, Desi Heltina³⁾

¹⁾Mahasiswa Program Studi Teknik Kimia, ²⁾Dosen Teknik Kimia, 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, Panam
Pekanbaru, 28293
muhammadzaqi5527@student.unri.ac.id

ABSTRACT

Geopolymer mortar is a material that has high SiO₂ and Al₂O₃ content and has the potential to be used as a base for making geopolymer mortar. This study aims to make geopolymer-based mortar (POFA) and coal flyash with the addition of graphene, and variations in the addition of graphene to the mechanical and morphological properties of the geopolymer mortar. The preparation of the geopolymer mortar includes several steps, namely the preparation and mixing of materials with various solid liquid ratios of 72:28, 60:40, and 80:20, then proceed with the preparation of an activator alkaline solution (10 M NaOH + Sodium silicate) and the addition of graphene with variations of 0%, 1% wt, 2% wt, and 3% wt. The results of the morphological analysis showed that the increased cavity that was formed increased along with the increase in the amount of graphene added. While the results of the compressive strength test showed that the highest compressive strength was obtained at 19,2 Mpa at a solid liquid ratio of 60:40 and the lowest compressive strength was obtained at 12,8 Mpa at a solid liquid ratio of 80:20.

Keywords : *geopolymer mortar, coal fly ash, graphene, POFA*

A. PENDAHULUAN

Beton merupakan komponen struktur yang banyak digunakan pada konstruksi bangunan. Penggunaan beton yang dominan dikarenakan pembuatan yang mudah dan harga yang murah. Umumnya penggunaan beton dimulai dari konstruksi

bawah sampai konstruksi atas. Pada penggunaan di konstruksi bawah, beton akan berada dalam lingkungan yang beragam (Miswar, 2011). Pembuatan beton konvensional yang menggunakan semen portland akan memperbanyak produksi semen yang mengakibatkan banyaknya gas

CO₂ ke atmosfer bumi, karena setiap 1 ton produksi semen akan menghasilkan 1 ton gas CO₂, gas tersebut merupakan salah satu gas terbesar yang ikut menyumbang dalam pemanasan global. Karbondioksida (CO₂) memberikan kontribusi 65% terhadap pemanasan global (McCaffrey 2002; Ariffin et al., 2011). Untuk menanggulangi kedua masalah diatas maka alternatif yang digunakan selain menggunakan semen portland adalah dengan geopolimerisasi yaitu penggantian semen portland dengan limbah hasil pembakaran batu bara yang biasa disebut abu terbang atau *fly ash* (FA) maupun dengan menggunakan limbah hasil pembakaran cangkang dan serabut buah kelapa sawit yang biasa disebut abu sawit atau *Palm Oil Fuel Ash* (POFA). Kedua jenis abu tersebut apabila tidak digunakan juga akan menjadi ancaman bagi lingkungan. Oleh karena itu, sangat penting dilakukan penggantian sebagian besar atau seluruh penggunaan semen portland pada produksi beton dan bahan pengganti yang cukup banyak salah satunya adalah abu terbang atau *fly ash* (FA). POFA mengandung silikon dioksida yang tinggi dan berpotensi untuk digunakan sebagai bahan pengganti semen. POFA adalah bahan pozzolanic yang menjanjikan dan banyak tersedia di seluruh bagian dunia (Tangchirapat, 2009). Pemanfaatan POFA yang tepat dapat

mengurangi penggunaan semen dan mengurangi volume limbah sehingga sangat bermanfaat bagi kelestarian lingkungan (Tangchirapat, 2009). Namun geopolimer POFA memiliki kelemahan diantaranya bersifat rapuh ditandai dengan rendahnya kekuatan tekan dan ketangguhan retak (Ranjbar dkk., 2014). Untuk mengatasi hal ini, maka geopolimer POFA dapat diperkuat dengan menggunakan material grafena. Penambahan material grafena dapat meningkatkan sifat mekanik dari geopolimer, seperti mengendalikan perambatan retak dan meningkatkan kekuatan lentur. Hal ini dikarenakan grafena memiliki sifat-sifat yang sangat unggul seperti luas permukaan yang sangat besar, densitas yang rendah, sifat termal, optik, elektrik, dan mekanik yang unik (Saafi dkk., 2015). Oleh sebab itu, pada penelitian ini akan dilakukan sintesa Geopolimer berbasis *Palm Oil Fuel Ash* (POFA) dan *Flyash* Batubara dengan penambahan *graphene*.

B. TINJAUAN PUSTAKA

B.1 Geopolimer

Geopolimer dapat didefinisikan sebagai material yang dibentuk melalui polimerisasi silikon, alumunium dan oksigen menjadi struktur *amorphous* 3 dimensi (Ferdy, 2010). Geopolimer diperkenalkan pertama kali oleh Joseph Davidovits pada tahun 1979, namun

penelitian awal mengenai material ini telah dilakukan di Ukraina pada tahun 1950-an oleh Glukhovsky. Perbedaan nya pada tahun 1950-an, Glukhovsky melakukan penelitian pada alkali -*activated slags* yang mengandung banyak kalsium. Sedangkan Davidovits menginisiasi penelitian penggunaan *clay* yang dikalsinasi agar terbebas dari kalsium (Sidik, 2012). Sejak geopolimer mulai dikenal dunia, material ini telah menarik banyak minat ilmiah para peneliti selama dua dekade belakangan. Hal ini selain karena keunggulan sifat yang dimiliki oleh material ini, disebabkan juga karena terdapat banyaknya variasi alumino silikat padat sebagai material dasar yang dapat digunakan untuk sintesis geopolimer. Bahan dasar alumino silikat padat ini dapat diperoleh dari mineral seperti kaolin, feldspar, bentonit, perlit, dan lain-lain. Selain dari mineral, bahan dasar alumino silikat padat dapat juga diperoleh dari hasil sampingan industri seperti abu terbang (sisa pembakaran batubara), alumina red mud, tailings dari eksplotasi bentonit dan perlit, slag, dan lain-lain (Sidik, 2012).

B.2 Mortar Geopolimer

Mortar geopolimer merupakan mortar yang memiliki kemampuan yang cukup baik dalam hal kekuatan terhadap tekan, ketahanan terhadap api dan ketahanan terhadap erosi, serta penggunaan *waste materials* pada

geopolimer menjadikan geopolimer merupakan produk yang ramah lingkungan (Bakharev, 2005). Material yang memiliki kandungan SiO_2 dan Al_2O_3 yang tinggi berpotensi untuk dijadikan bahan dasar pembuatan mortar geopolimer. Proses pembentukan mortar geopolimer disebut dengan proses polimerisasi kondensasi, yaitu reaksi gugus fungsi banyak menghasilkan suatu molekul besar bergugus banyak dan diikuti pelepasan molekul kecil berupa air. Proses pelepasan air terjadi selama proses *curing* (Adiningtyas, et al., 2007). Reaksi polimerisasi dapat terjadi karena adanya reaksi antara *alkaline activator* (NaOH atau KOH) dengan material yang mengandung silikat atau alumina yang tinggi. Pemberian sodium silikat (Na_2SiO_3) pada mortar geopolimer dapat mempercepat reaksi polimerisasi yang cenderung lambat, sehingga dengan demikian kekuatan mortar geopolimer dapat meningkat dibandingkan dengan tanpa adanya penambahan Na_2SiO_3 (Davidovits, 2008).

B.3 Fly ash Kelapa Sawit (POFA)

Abu limbah kelapa sawit atau disebut juga *palm oil fly ash* (POFA) merupakan hasil pembakaran dari limbah kelapa sawit yang berasal dari boiler dengan suhu didalam sekitar 1000°C sampai 2000°C . Pembakaran ini juga menghasilkan 2 jenis

abu yaitu *bottom ash* (abu dasar) dan *fly ash* (abu terbang). POFA berwarna keabuan, menjadi hitam dengan meningkatnya proporsi karbon yang tidak terbakar. POFA mengandung jumlah silika yang tinggi dan berpotensi sebagai pengganti semen dan porselin (Suárez-Ruiz dkk., 2017). Pengolahan POFA dengan pembakaran kembali selama 1,5 jam di dalam *furnace* dengan suhu $500 \pm 50^{\circ}\text{C}$ bertujuan untuk mengurangi karbon tidak terbakar dalam abu (Johari dkk., 2012). Kandungan karbon tidak terbakar cukup tinggi dalam abu menjadikan geopolimer abu sawit yang dihasilkan menjadi material getas, *porous* dan memiliki kuat tekan rendah (Chandara dkk., 2010).

B.4 Fly ash

Fly ash adalah hasil pemisahan sisa pembakaran yang halus dari pembakaran batu bara yang dialirkan dari ruang pembakaran melalui ketel berupa semburan asap. Sekitar 75-90% abu yang keluar dari cerobong asap dapat ditangkap oleh sistem *Elektrostatik Presipitator* (EP). Sisa yang lain didapat di dasar tungku (disebut *bottom fly ash*) dan *fly ash* tergantung pada kesempurnaan proses pembakarannya. Material ini mempunyai sifat *pozzolanik*, kandungan *fly ash* sebagian besar terdiri dari silikat dioksida (SiO_2), aluminium (Al_2O_3), besi (Fe_2O_3),

dan kalsium (CaO), serta magnesium, potasium, sodium, titanium, dan sulfur dalam jumlah yang lebih sedikit (Septia, 2014).

C. METODE PENELITIAN

C.1 Bahan

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *Palm Oil Fly Ash* (POFA) yang diperoleh dari Kota Dumai, Riau dan Fly Ash Batu Bara yang diperoleh dari PLTU Tenayan Raya, Pekanbaru, Riau sebagai precursor.

C.2 Variabel Penelitian

Variabel penelitian ini terdiri atas variabel tetap dan variabel berubah. Variabel tetap diantaranya yaitu rasio $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ (2,5:1), waktu pengujian 28 hari, rasio flyash/pasir 2:1 dan suhu curing 60°C selama 24 jam. Sedangkan untuk variabel berubah terdiri atas variasi rasio solid liquid 72:28, 60:40 dan 80:20 dan penambahan grafena (0%, 1%, 2% dan 3%).

C.3 Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan melalui beberapa tahapan yaitu persiapan bahan baku, persiapan larutan alkali aktivator, persiapan pembuatan grafena, kemudian dilanjutkan dengan pembuatan geopolimer.

C.3.1 Persiapan Bahan Baku

Pada preparasi bahan dapat dilihat POFA terlebih dahulu dikeringkan dan diayak 200 mesh, selanjutnya dikalsinasi didalam *furnace* selama 1,5 jam lalu POFA

dicampur dengan pasir dan sebelum dicampur pasir disaring dengan saringan 30 mesh, selanjutnya baru diperoleh campuran POFA, FA dan pasir.

C.3.2 Persiapan Larutan Alkali Aktivator

Untuk membuat 500 ml larutan NaOH 10M, diperlukan 200 gr NaOH untuk dilarutkan didalam aquadest hingga volume larutan 500 ml.

C.3.3 Pembuatan Graphene

Graphene konsentrasi 20 mg/ml dibuat menggunakan metode *Turbulence-Assisted Shear Exfoliation* (TASE) yang dilaporkan (Varrla et al., 2014). Pertama, grafit sebanyak 10 gram dan surfaktan sebanyak 1,25 gram dilarutkan dalam 500 ml *aquadest*. Campuran kemudian dimasukkan pada *blender*. *Blender* dioperasikan pada kecepatan maksimal dengan lama pengoperasian yaitu 60 menit. Untuk menjaga kondisi proses, *blender* dioperasikan 1 menit *on* dan 1 menit *off*. Setelah pengelupasan kulit *graphite* selesai, *graphene* yang dihasilkan didiamkan agar dingin setelahnya di simpan pada wadah.

C.3.4 Pembuatan Geopolimer

Pada pembuatan geopolimer ini semua bahan dicampurkan, dimana larutan alkali aktivator ditambahkan dengan grafena 0,1,2 dan 3wt%) dan selanjutnya diaduk dan disonikater selama 1 jam, dan larutan dicampur dengan campuran POFA-

FA dan diaduk hingga *workability*, selanjutnya material dimasukkan kedalam cetakan dengan ukuran 5x5x5, dan adonan berbentuk balok dioven dengan suhu 60 C selama 24 jam, setelah 24 jam adonan dibiarkan mengeras, dan dibiarkan selama 28 hari. Setelah 28 harimortar diuji morfologi dan kuat tekan nya.

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

D.1 Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan diterapkan pada 12 sampel mortar geopolimer secara duplo, dimana sampel dengan variasi yaitu penambahan grafena sebanyak (0%, 1%, 2%, dan 3.

Rasio POFA/Pasir	Penambahan Grafena (%wt)	Kuat Tekan (MPa)
72:80	0	14
	1	14,4
	2	15,6
	3	17,6
60:40	0	13,2
	1	14,4
	2	18,4
	3	19,2
80:20	0	11,2
	1	11,6
	2	12
	3	12,8

Tabel 1. Kuat Tekan Mortar Geopolimer

Berdasarkan Tabel 1 dapat disimpulkan bahwa kuat tekan mortar geopolimer meningkat seiring dengan penambahan jumlah grafena untuk semua variasi rasio solid liquid. Pada Tabel 1 terlihat bahwa kuat tekan tertinggi untuk setiap rasio solid liquid yaitu 72:28; 60:40;

dan 80:20 berada pada penambahan 3%wt grafena yaitu sebesar 17,6; 19,2; dan 12,8 MPa. Peningkatan kuat tekan dari mortar geopolimer ditambah grafena disebabkan karena grafena memiliki sifat mekanik yang unggul, dimana kuat tarik rata-rata dan *modulus elastisitas* grafena sebesar 125 GPa dan 1,1 TPa (Wang dkk., 2016). Hasil kuat tekan mortar geopolimer juga mengalami peningkatan yang signifikan dengan adanya penambahan *graphene* sehingga dapat memaksimalkan interaksi antara *graphene* dengan matriks geopolimer, sehingga *graphene* dapat terdispersi dengan baik ke dalam matriks geopolimer (Shamsaei dkk, 2018) serta memiliki transfer beban yang efektif dari material disekitarnya ke *graphene* (Radha dkk, 2018). Hal ini dapat meningkatkan kinerja mekanis serta ketahanan komposit mortar geopolimer secara efektif meskipun dengan penambahan *graphene* dalam jumlah yang sedikit (Shamsaei dkk, 2018). Wang dkk (2016) juga mengatakan bahwa adanya penambahan *graphene* membuat matriks geopolimer menjadi lebih padat. Matriks geopolimer yang lebih padat akan menghasilkan porositas yang rendah dan distribusi ukuran pori-pori pada komposit geopolimer-*graphene* lebih halus sehingga meningkatkan sifat mekanis dari geopolimer. Interaksi antara *graphene* dan matriks geopolimer

memiliki dampak yang sangat penting terhadap sifat mekanik mortar geopolimer terutama jika diberi sebuah tekanan. Lembaran-lembaran *graphene* akan berinteraksi dengan cara menyelimuti partikel-partikel penyusun matriks geopolimer (Guo dkk, 2018), sehingga lembaran *graphene* tersebut akan mengurangi akumulasi tekanan dalam matriks geopolimer dengan cara mendistribusikan tekanan secara seragam ke seluruh bagian di dalam matriks dan mengubah retakan menjadi *crack deflection*, *crack bridging* dan *crack branching* (Wang dkk, 2016). *Graphene* jika ditambahkan ke dalam campuran larutan aktivator alkali dan sodium silikat tidak mengalami reaksi dikarenakan *graphene* bersifat *inert* (Shamsaei dkk, 2018; Guo dkk, 2018). Namun, *graphene* akan terikat secara sekunder dengan atom O dari matriks geopolimer (Si-O-Al atau Si-O-Si) saat terjadinya reaksi geopolimerisasi.

D.2 Pengujian Porositas

Pengujian porositas bata ringan dilakukan sesuai dengan ASTM C642 (2013) dengan cara perendaman dalam air selama 2 hari. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui persentase rongga yang terdapat pada bata ringan yang telah ditambah dengan grafena dengan berbagai konsentrasi.

Rasio POFA/Pasir	Penambahan Grafena (%wt)	Porositas
72:80	0	13,4
	1	8,9
	2	8,8
	3	8,6
60:40	0	16,7
	1	13,4
	2	11,3
	3	9,1
80:20	0	20,9
	1	17,5
	2	15,7
	3	15,6

Tabel 2. Hasil Porositas Mortar Geopolimer

Dari tabel 2 nilai porositas yang semakin kecil dengan bertambahnya penambahan *graphene* ke dalam mortar geopolimer. Penambahan *graphene* menyebabkan matriks mortar geopolimer semakin padat, sehingga pori-pori yang dihasilkan rendah dan berukuran halus (Shamsaei dkk, 2018; Wang dkk, 2016). Ukuran *graphene* yang bersifat nano membuat *graphene* lebih mudah terdispersi secara merata dan saling terikat dengan kuat ke seluruh material dipermukaan matriks geopolimer sehingga dapat mengisi pori-pori yang terdapat pada matriks geopolimer (Yan dkk, 2015). Padatnya permukaan geopolimer menunjukkan kecilnya persentase porositas sehingga kuat tekan yang dihasilkan sangat tinggi. Apabila pori-pori yang terdapat pada mortar geopolimer banyak akan menurunkan sifat mekanis mortar (kuat tekan) karena dapat memicu

mudahnya terjadi retakan (Wang dkk, 2016).

KESIMPULAN DAN SARAN

E.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan :

1. Pembuatan geopolimer mortar geopolimer berbahan dasar POFA dan *flyash* batubara telah berhasil dilakukan.
2. Peningkatan persentase penambahan berat grafena ke dalam matriks geopolimer akan meningkatkan kuat tekan dan menurunkan porositas dari mortar geopolimer yang dihasilkan. Sedangkan kuat tekan tertinggi untuk mortar geopolimer dihasilkan pada rasio 60:40 dengan 3% penambahan grafena sebesar 19,2 Mpa.

E.2 Saran

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

1. Sebaiknya pada peneliti selanjutnya, harus dikembangkan lagi dikarenakan penelitian ini bermanfaat untuk mencegah kerusakan lingkungan.
2. Sebaiknya pada peneliti selanjutnya dihitung nilai ekonomis untuk dapat diterapkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adisty, D. (2009). *Sintesis Geopolimer Berbahan Baku Abu Terbang*. Halaman 44. Tesis. Universitas Indonesia.
- Aleem, M. I. A., dan Arumairaj, P. D. (2016). Pollution Free Geopolymer Concrete with M- Sand. *EM International*, 22(13), 1–7.
- Aleem, M. I. A., dan Arumairaj, P. D. (2016). Pollution Free Geopolymer Concrete with M- Sand. *EM International*, 22(13), 1–7.
- Colombo. (2013). Graphene Synthesis By Chemical Vapor Deposition. *United States Patent*, 2(12), 1–11.
- Davidovits, J. dan Sawyer, J. L. (1985). *Early High-Strength Mineral*. US Patent No.4, 509, 1985.
- Davidovits, J. (1988). *Soft Mineralurgy and Geopolymers*. Geopolymer 88 International Conference, The Université de Technologie, Compiègne, France.
- Davidovits, J. (1994). *High-Alkali Cements for 21st Century Concretes in Concrete Technology, Past, Present and Future*. V. Mohan Malhotra Symposium, ACI SP-144. pp. 383-397.
- Davidovits. (2008). *Geopolimer Chemistry and Applications*. edisi 4. halaman 34. Geopolymer institute. United States of America. Geopolymer Paste and Mortar. *Materials*, 06, 1485–1495.
- Ferdy. (2010). Pengaruh Temperatur Dan Waktu Curing Terhadap Kuat Tekan Pasta Geopolimer. 71.
- Görhan, G., & Kürklü, G. (2014). The Influence of the NaOH Solution on the Properties of the Fly Ash-Based Geopolymer Mortar Cured at Different Temperatures. *Composites*, 58, 371–377.
- Hwang, C. L., dan Huynh, T. P. (2017). Effect of Alkali-Activator and Rice Husk Ash Content on Strength Development of Fly Ash and Residual Rice Husk Ash Based Geopolymers. *Contruction and Building Materials*, 101 : 1-9.
- Mastura, W., Mustafa, M., Sandu, A. V., Hussin, K., Sandu, I. G., Ismail, K. N., Binhussain, M. (2014). Processing and Characterization of Fly Ash-Based Geopolymer Bricks. *Elsevier*, 2(11), 1–6.
- Miswar, Khairul. (2011). Kuat Tekan Beton Terhadap Lingkungan Agresif. *Jurnal Portal*, ISSN 2085-7454, Vol 3 No 2.
- Mohan, V. B., Lau, K., Hui, D., dan Bhattacharyya, D. (2018). Graphene-Based Materials and Their Composites : A Review on

- Sheka, E. F. (2013). Molecular Theory of Graphene Chemical Modification. *Cornell University Library*, 20(2014). 1–40.SNI03-6825-2002. (2002). *Metode pengujian kekuatan tekan mortar semen portland untuk pekerjaan sipil*. edisi 1. halaman 1-17. Badan Standar Nasional. Jakarta.
- Syakir, N., Nurlina, R., Anam, S., Aprilia, A., dan Hidayat, S. (2015). Kajian Pembuatan Oksida Grafit untuk Produksi Oksida Grafena dalam Jumlah Besar. *Jurnal Fisika Indonesia*, xix(November), 26–29.
- Tangchirapat, W., C. Jaturapitakkul and P. Chindaprasirt, (2009). Use of Palm Oil Fuel Ash as a Supplementary Cementitious Material for Producing High-strength Concrete. *Construction and Building Materials*, 23(7): 2641-2646.
- Ray, S. C. (2015). *Application of Graphene and Graphene Oxide Based Nanomaterials*. edisi 1. halaman 1-93. Elsevier. United Kingdom.
- Saafi, M., Tang, L., Fung, J., dan Rahman, M. (2014). Graphene/Fly Ash Geopolymeric Composites as Self-Sensing Structural Materials. *Smart Materials and Structures*, 065006, 2–11.
- Saafi, M., Tang, L., Fung, J., Rahman, M., dan Liggat, J. (2015). Enhanced Properties of Graphene / Fly Ash Geopolymeric Composite Cement. *Cement and Concrete Research*, 67, 292–299.
- Sidik, U. (2012). Sintesis Metakolin dan Abu Terbang Sebagai Prekursor Geopolimer. *Skripsi*. Departemen Teknik Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok.
- Swanepoel, J. C. dan Strydom, C. A. (2002). *Utilisation of Fly Ash in Geopolymeric Material*. *Journal of Applied Geochemistry*, 17 : pp.1143-1148.
- Septia, P. (2014). *Literature Study Comparative Effect of Concentration of NaOH and Ratio of NaOH:Na₂SiO₃, Ratio of Water/Precursor, Curing Temperature, and Type of Precursor to Compression Strength of Geopolymer Concrete*. halaman 1-265. Tesis. Universitas Indonesia.
- Shamsaei, E., Basquiroto, F., Souza, D., Yao, X., Benhelal, E., Akbari, A., dan Duan, W. (2018). Graphene-Based Nanosheets for Stronger and More Durable Concrete : A review. *Construction and Building*

- Materials*, 183, 642–660.
- Sheka, E. F. (2013). Molecular Theory of Graphene Chemical Modification. *Cornell University Library*, 20(2014). 1–40.SNI03-6825-2002. (2002). *Metode pengujian kekuatan tekan mortar semen portland untuk pekerjaan sipil*. edisi 1. halaman 1-17. Badan Standar Nasional. Jakarta.
- Syakir, N., Nurlina, R., Anam, S., Aprilia, A., dan Hidayat, S. (2015). Kajian Pembuatan Oksida Grafit untuk Produksi Oksida Grafena dalam Jumlah Besar. *Jurnal Fisika Indonesia*, xix(November), 26–29.
- Tangchirapat, W., C. Jaturapitakkul and P. Chindaprasirt, (2009). Use of Palm Oil Fuel Ash as a Supplementary Cementitious Material for Producing High-strength Concrete. *Construction and Building Materials*, 23(7): 2641-2646.
- Varrla, E., Paton, Keith R., Backes, C., Harvey, A., Smith, R. J., McCaukey, J., dan Coleman, J.N. (2014). Turbulence-assisted Shear Exfoliation of Graphene Using Household Detergent and a Kitchen Blender. *Nanoscale*, 10: 1-22.
- Wallah, S. E., Hardjito, D., Sumajouw D. M. J., dan Rangan, B. V. (2005). *Creep and Drying Shrinkage Behaviour of Fly Ash-Based Geopolymer Concrete*. The 22nd Biennial Conference Concrete 2005, Melbourne.
- Wallah, S.E. dan Rangan, B.V. (2006). *Low-Calcium Fly Ash-Based Geopolymer Concrete : Long-Term Properties*. Research Report GC2, Faculty of Engineering.
- Zailani, W. W. A., Abdullah, M. M. A. B., Rozainy, M. R., Zainol, M. A., Razak, R. A., Faheem, M., dan Tahir, M. (2017). Compressive and Bonding Strength of Fly Ash Based Geopolymer Mortar. *Green Construction and Engineering Education for Sustainable Future*, 020058, 2–8