

# SIFAT MEKANIS GEOPOLIMER RINGAN BERBAHAN DASAR *FLY ASH* BATUBARA DENGAN PENAMBAHAN SEMEN *PORTLAND* DAN CAIRAN ALKALI AKTIVATOR

M. Reski<sup>1)</sup>, Amun Amri<sup>2)</sup>, Zuchra Helwani<sup>3)</sup>

1) Mahasiswa Program Studi Teknik Kimia, 2,3) Dosen Teknik Kimia  
Laboratorium Dasar Proses dan Operasi Pabrik  
Porgram Studi Teknik Kimia S1, Fakultas Teknik Universitas Riau  
Kampus Bina Widya Jl. HR. Soebrantas KM 12,5 Simpang Baru, Panam  
Pekanbaru, 28293  
E-mail : [mreski062@gmail.com](mailto:mreski062@gmail.com)

## ABSTRACT

*Geopolymer is an inorganic polymer material composed of Si and Al atoms arranged in a 3-dimensional network (Si-O-Al) synthesized from aluminosilicate with an alkaline activator solvent. The use of this geopolymer can be used as a material for making lightweight concrete types of cellular lightweight geopolymer (CLG) which can be used as a construction wall for building blocks and brick red brick. This study aims to make a lightweight geopolymer based on fly ash coal using a foaming agent with the addition of sand, portland, and alkaline liquid activators and study the effect of adding cement Portland, and the amount of alkaline liquid activator on the mechanical properties of the resulting mild geopolymer. Making light geopolymers begins with preparing an alkaline activator solution made by mixing 10 M NaOH into sodium silicate with a ratio of (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> 2.5/NaOH) to homogeneous, then the foaming liquid is made by dissolving the foaming agent using water with a ratio (foaming agent/water) 1:30, after which the foaming liquid is connected to the foam generator to produce the desired foam, then the process of mixing the raw material used is homogeneous. The mechanical geopolymer mechanical properties test results showed that the highest compressive strength of 2.15 MPa was obtained from variations in the amount of activator liquid 23% with the addition of 15% OPC, the lowest porosity 27.55% obtained from variations in the amount of liquid activator 23% with the addition of 15% OPC.*

**Keywords:** *fly ash*, geopolymers, light geopolymers, liquid activator, OPC

## 1. PENDAHULUAN

Geopolimer pertama kali diperkenalkan oleh Davidovits pada tahun 1978 untuk jenis pengikat yang memiliki komposisi kimia yang menyerupai zeolite tetapi memiliki mikrostuktur semikristalin dengan istilah “poly(sialate)” (Saafi *et al.*, 2015). Proses pembentukan geopolimer melalui proses polimerisasi bahan yang mengandung aluminasilikat oksida (Si<sub>2</sub>O, Al<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) yang direaksikan dengan menggunakan alkali aktivator menghasilkan ikatan polimer Si-O-Al.

Beton ringan (*lightweight concrete*) merupakan beton yang dibuat dengan teknik tertentu sehingga memiliki pori dalam jumlah besar. Pori-pori yang merupakan karakteristik khas bata ringan itu sengaja dibentuk sehingga menyebabkan beton itu jauh lebih ringan dibanding beton umumnya. Bata ringan umumnya terdiri dari OPC (*ordinary portland cement*), pasir, air dan agen pembusa. Dimana ketergantungan penggunaan OPC dapat menyebabkan effect gas rumah kaca (Fan *et al.*, 2017).

Geopolimer berbahan dasar *fly ash* dapat digunakan sebagai bahan pembuatan dinding bangunan dikarenakan *fly ash* memiliki sifat *pozzolans*, jika direaksikan dengan larutan alkali aktivator akan memiliki sifat mengikat seperti halnya OPC. *Fly ash* batubara merupakan bahan baku yang saat ini banyak digunakan dalam memproduksi geopolimer. Hal ini dikarenakan *fly ash* batubara memiliki kandungan  $\text{SiO}_2$  dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  yang tinggi sehingga berpotensi untuk dijadikan bahan dasar pembuatan geopolimer ringan sebagai pengganti OPC. Selain itu, geopolimer memiliki keunggulan berupa kemampuan yang cukup baik dalam hal kuat tekan, serta memiliki ketahanan terhadap api (Suárez-Ruiz *et al.*, 2017). Ketahanan terhadap api dikarenakan geopolimer memiliki ikatan polimer Si-O-Al yang kuat (Fan *et al.*, 2017). Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan pembuatan geopolimer ringan berbahan dasar *fly ash* batubara dengan melihat sifat mekanis geopolimer ringan yang dihasilkan setelah penambahan OPC dan cairan alkali aktivator.

## 2. LANDASAN TEORI

### 2.1. Beton Ringan

Beton ringan merupakan beton yang mengandung agregat ringan dan memiliki densitas berkisar antara 300-1800 kg/m<sup>3</sup> (Abdullah *et al.*, 2012). Pada dasarnya beton ringan diperoleh dengan cara penambahan pori-pori ke dalam campuran beton. Pori-pori yang merupakan khas beton ringan itu sengaja dibentuk sehingga menyebabkan beton itu jauh lebih ringan dibanding beton umumnya. Keunggulan utama bata ringan adalah pada berat, sehingga jika digunakan pada proyek bangunan tinggi maka akan dapat

mengurangi berat sendiri bangunan (Muralitharan dan Ramasamy, 2017).

### 2.2 Geopolimer Ringan

Beton geopolimer ringan merupakan inovasi ramah lingkungan yang menggabungkan karakteristik dari sebuah beton ringan dan kelebihan dari beton geopolimer. Geopolimer ringan diproduksi menggunakan proses geopolimerisasi dengan penambahan senyawa pembusa (*foaming agent*) yang dicampurkan sebagian air terlebih dahulu sebagai pembungkus udara.

Spesifikasi kuat tekan geopolimer ringan yang diperbolehkan merujuk berdasarkan ASTM C 869-91 (2012) untuk standar kuat tekan bata ringan.

### 2.3 Material Penyusun Geopolimer Ringan

#### 2.3.1 Prekursor

Prekursor merupakan salah satu bahan utama pembentukan polimer yang mengandung senyawa alumina dan silika yang tinggi. Prekursor untuk geopolimer berbasis alumina silikat seharusnya kaya silika dan alumina, yang dapat berupa mineral alam seperti kaolin, tanah liat, mika, andalusit, spinel dan lain-lain, yang rumus empirisnya mengandung Si, Al dan Oksigen (O). Alternatif lain yang dapat digunakan sebagai material asal adalah material yang berasal dari produk sampingan seperti abu terbang (*fly ash*), *silica fume*, *slag*, *rice-husk ash*, lumpur merah, dan lain-lain (Zarina *et al.*, 2013).

#### 2.3.2 Alkali Aktivator

Alkali aktivator merupakan senyawa yang digunakan agar terjadi reaksi polimerisasi kondensasi pada mortar geopolimer. Alkali mengaktifkan prekursor dengan mendisolusikan mereka ke dalam

monomer  $(\text{SiOH})_4^-$  dan  $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ . Selama proses *curing*, monomer-monomer tadi terkondensasi dan membentuk jaringan polimer tiga dimensi dan berikatan silang. Ion alkali bertindak sebagai penetral muatan (*charger balance*) untuk tiap molekul tetrahedron  $\text{Al}(\text{OH})_4^-$  (Septia, 2015).

### 2.3.3 Agregat Halus

Agregat didefinisikan sebagai material granul seperti pasir, kerikil, pecahan bebatuan, dan kerak tungku besi yang dipakai bersama-sama dengan suatu media pengikat untuk membentuk mortar atau beton semen hidrolik atau adukan. Agregat halus berfungsi sebagai pengisi ruang kosong untuk mengurangi pori pada beton dan mortar (Septia, 2015).

### 2.3.4 Agen Pembusa (*Foaming Agent*)

*Foaming agent* merupakan suatu larutan pekat dari bahan surfaktan, dimana apabila hendak digunakan harus dilarutkan terlebih dahulu dengan air. Surfaktan adalah zat yang cenderung terkonsentrasi antar muka dan mengaktifkan antar muka.

### 2.3.5 Material Penguat

Untuk meningkatkan sifat mekanik geopolimer dapat dilakukan dengan penambahan material penguat ke dalam geopolimer. Umumnya penambahan material penguat dilakukan untuk meningkatkan karakteristik mikro struktur dari geopolimer, serta mencegah dan mengontrol pembukaan dan pertumbuhan dari retakan.

## 3. METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri *fly ash* batubara yang diperoleh dari PT. PLTU Tenayan Raya

Pekanbaru sebagai prekursor, pasir cor putih sebagai agregat halus, semen *portland* (OPC) sebagai bahan tambah untuk mempercepat waktu *setting* pengerasan. Bahan kimia yang digunakan adalah natrium silikat (29,4%  $\text{SiO}_2$ , 14,7%  $\text{NaO}_2$  dan 59,9%  $\text{H}_2\text{O}$ ) (*merk Chemical Indonesia*) dan NaOH (sebagai aktivator), *foaming agent* (SLS, *Sodium Lauryl Sulfat*) sebagai penghasil busa, serta sikamen (*merk Chemical Indonesia*). Bahan lain yang digunakan adalah aquadest (PT. Bratako Chemika).

### 3.2 Variabel Penelitian

Variabel dalam penelitian ini terdiri dari variabel tetap dan variabel berubah. Variabel tetap yang digunakan diantaranya rasio berat *fly ash*/pasir (1:2), rasio berat  $\text{N}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$  (2,5), rasio *foaming agent*/air (1:30), busa sebesar 610 gram, konsentrasi NaOH 10 M, umur mortar 7 hari serta *curing* pada  $60^\circ\text{C}$  selama 24 jam. Sementara untuk variabel berubah yang digunakan yaitu variasi penambahan semen *portland* (5%, 10%, dan 15%) dan variasi penambahan cairan aktivator (20%, dan 23%).

### 3.3 Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan melalui beberapa tahapan yaitu persiapan dan preparasi bahan baku, pembuatan larutan alkali aktivator, pembuatan cairan pembusa, kemudian dilanjutkan dengan pembuatan geopolimer ringan dengan penambahan busa.

#### 3.3.1 Persiapan Bahan Baku

Bahan baku berupa *fly ash* batubara yang diperoleh dari PT. PLTU Tenayan Raya, dan pasir cor putih sebelum dicampur dikeringkan terlebih dahulu untuk mengurangi kadar air yang

terkandung dalam bahan, proses ini dilakukan dengan cara menjemur *fly ash* dan pasir di bawah sinar matahari. Kemudian, *fly ash* batubara disaring pada ayakan 200 mesh serta pasir disaring menggunakan ayakan 40 mesh.

### 3.3.2 Persiapan Cairan Alkali Aktivator

Larutan alkali aktivator dibuat dengan mencampurkan natrium silikat dan NaOH 10 M hingga homogen. Namun sebelum proses pencampuran, NaOH 10 M terlebih dahulu dibuat dengan cara NaOH padat 98% dilarutkan menggunakan aquadest. Kemudian, larutan NaOH yang sudah jadi didinginkan pada temperatur ruang sebelum digunakan untuk melarutkan natrium silikat dengan rasio (natrium silikat/NaOH) adalah 2,5.

### 3.3.3 Persiapan Cairan Pembusa

Cairan pembusa dibuat dengan melarutkan *foaming agent* menggunakan air dengan rasio *foaming agent*/air adalah 1:30. Kemudian cairan pembusa digunakan untuk menghasilkan busa melalui *foam generator* yang dihubungkan dengan kompressor.

### 3.3.4 Pembuatan Geopolimer Ringan

Pembuatan geopolimer ringan dilakukan dengan mencampurkan bahan-bahan yang akan digunakan, dimana diawali dengan mempersiapkan larutan alkali aktivator yang dibuat dengan mencampurkan NaOH 10 M ke dalam natrium silikat dengan rasio natrium silikat/NaOH yakni 2,5 hingga homogen. Selanjutnya cairan pembusa dihubungkan dengan *foam generator* untuk menghasilkan busa yang diinginkan. Proses pencampuran bahan baku dilakukan secara manual dengan urutan penimbangan jumlah busa yang diinginkan. Kemudian

dilanjutkan dengan mencampurkan pasir dan *fly ash* ke dalam busa. Setelah itu dilakukan pengadukan secara merata hingga busa menghilang. Proses pengadukan dilakukan dengan menggunakan *mixer* bor. Setelah itu, ditambahkan dengan cairan alkali aktivator diaduk hingga merata yang ditandai dengan adonan menjadi mortar atau pasta. Setelah itu, ditambahkan sikamen ke dalam mortar, kemudian ditambahkan semen *portland* diaduk hingga merata. Setelah selesai dicampur dan diaduk hingga merata, mortar atau pasta tersebut kemudian dituangkan ke dalam cetakan yang berbentuk kubus dengan ukuran (10 cm x 10 cm x 10 cm). Mortar atau pasta dipadatkan agar mengisi seluruh cetakan, setelah tercetak kemudian mortar di keringkan dalam suhu ruangan sampai mortar mengeras. Setelah mortar mengeras, mortar dilepaskan dari cetakan. Setelah itu dilakukan *curing* selama 24 jam pada suhu 60 °C. Kemudian, sampel geopolimer ringan tersebut dibiarkan dalam suhu kamar sampai tiba waktu pengujian yaitu 7 hari untuk dilakukan pengujian geopolimer ringan yang dihasilkan.

## 4. Hasil dan Pembahasan

### 4.1 Pengujian Kuat Tekan

Pada penelitian ini dilakukan pengujian kuat tekan terhadap geopolimer ringan yang dihasilkan dengan variasi jumlah cairan aktivator (20%, 23%) serta penambahan semen *portland* (OPC) (5%, 10% dan 15%). Untuk menggambarkan hasil pengujian kuat tekan terhadap kedua variasi tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Hasil Pengujian Kuat Tekan Geopolimer Ringan

%wt Penambahan Cairan Aktivator	%wt Penambahan Semen <i>Portland</i>	Kuat Tekan (%)
20%	5%	1,15
	10%	1,75
	15%	1,85
23%	5%	1,55
	10%	1,9
	15%	2,15

Tabel 1 terlihat bahwa kuat tekan geopolimer ringan cenderung mengalami peningkatan yang relatif linier seiring dengan meningkatnya jumlah penambahan OPC untuk semua variasi cairan aktivator. Tabel 1 terlihat bahwa kuat tekan tertinggi ditunjukkan oleh sampel-sampel dengan penambahan 15% OPC yaitu sebesar 1,85 MPa dan 2,15 MPa. Sementara, untuk nilai kuat tekan terendah ditunjukkan oleh sampel-sampel dengan penambahan 5% OPC yaitu sebesar 1,15 MPa dan 1,55 MPa.

Peningkatan kuat tekan ini disebabkan karena OPC memiliki sifat perekat yang baik sehingga akan memperkuat ikatan antara material, dimana jika OPC berikatan dengan air maka akan mengalami panas hidrasi yang menghasilkan ikatan yang kuat, memberikan durabilitas tinggi pada matriks, serta mengurangi *drying cracking*, sehingga dapat mencegah atau menunda hancurnya mortar saat diberikan beban (Sutandar *et al.*, 2018). Hasil ini bersesuaian dengan hasil penelitian sebelumnya, dimana penambahan OPC ke dalam matriks geopolimer dapat meningkatkan kepadatan sehingga menghasilkan kuat tekan yang besar, serta mempercepat waktu *setting* pengerasan.

Selain itu, pada Tabel 1 terlihat peningkatan kuat tekan disebabkan juga oleh penambahan jumlah cairan aktivator. Dimana semakin meningkat jumlah cairan aktivator maka kuat tekan semakin meningkat. Hal ini disebabkan karena cairan aktivator dapat mempercepat reaksi geopolimerisasi dari monomer alumina-silika menjadi struktur jaringan tiga dimensi yang kuat. Hasil ini bersesuaian dengan penelitian Tekin (2016), dimana kekuatan geopolimer yang baik terbentuk melalui proses polimerisasi antara aluminasilika yang direaksikan dengan menggunakan alkali aktivator menghasilkan ikatan Si-O-Al yang kuat. Selain itu, peningkatan kekuatan dari geopolimer ringan juga disebabkan adanya *curing*, hal ini dikarenakan *curing* dapat mendorong terjadinya polimerisasi sehingga akan terbentuk kuat tekan yang tinggi. Saafi *et al.*, (2015) menjelaskan, penambahan cairan aktivator pada matriks geopolimer yang diikuti dengan adanya perlakuan pemanasan (*curing*) akan mempercepat reaksi polimerisasi sehingga nilai kuat tekan dari material tersebut akan meningkat.

#### 4.2 Pengujian Porositas

Pada penelitian ini dilakukan pengujian porositas terhadap geopolimer ringan yang dihasilkan. Untuk menggambarkan hasil pengujian porositas geopolimer ringan dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2** Hasil Pengujian Porositas Geopolimer Ringan

%wt Penambahan Cairan Aktivator	%wt Penambahan Semen <i>Portland</i>	Porositas (%)
20%	5%	32,94
	10%	30,53

	15%	29,53
23%	5%	31,51
	10%	30,1
	15%	27,55

Tabel 2 menunjukkan hasil pengujian porositas geopolimer ringan terhadap jumlah cairan aktivator pada berbagai variasi penambahan semen *portland* (OPC). Dimana pada Tabel 2 terlihat bahwa nilai porositas geopolimer ringan menurun seiring dengan meningkatnya penambahan semen *portland* dan jumlah cairan aktivator. Secara umum, mortar ringan memiliki kapasitas porositas yang tinggi, hal ini disebabkan oleh pemberian gelembung busa sehingga menambah rongga di dalam mortar ringan itu sendiri (Jain *et al.*, 2019). Berdasarkan Tabel 2 terlihat bahwa nilai porositas terendah ditunjukkan oleh sampel-sampel dengan penambahan 15% OPC yaitu sebesar 29,55% dan 27,55%. Sementara, untuk nilai porositas tertinggi ditunjukkan oleh sampel-sampel dengan penambahan 5% OPC yaitu sebesar 32,94% dan 31,51%.

Jitchaiyaphum *et al.*, (2011) menjelaskan, dengan adanya penambahan OPC di dalam matrik geopolimer akan menurunkan nilai porositas dari geopolimer ringan, hal ini dikarenakan ikatan CSH (kalsium silikat hidrat) yang dihasilkan dapat mengisi dan menutupi pori-pori secara signifikan serta dapat mengontrol *workability* dari adonan yang dapat membuat adonan tidak terlalu encer sehingga gelembung busa tidak bergerak bebas saat proses pengerasan sehingga pori yang terbentuk tidak terdistribusi secara merata. Hasil penelitian tersebut bersesuaian dengan penelitian Nugroho (2010), dimana penambahan semen *portland* ke dalam matriks dapat menurun nilai porositas, hal ini dikarenakan ikatan

CSH yang dihasilkan dapat mengisi pori-pori yang terbentuk, dimana pori-pori tersebut yang awalnya terisi oleh air dan digantikan dengan ikatan CSH yang kuat. Selain itu, penurunan nilai porositas juga disebabkan oleh penambahan jumlah cairan aktivator. Hal ini dikarenakan cairan aktivator dapat membentuk ikatan polimer Si-O-Al yang kuat sehingga geopolimer menjadi lebih padat. Hasil ini bersesuaian dengan hasil penelitian yang diperoleh didapat nilai porositas terendah pada variasi cairan aktivator 23% dengan penambahan 15% OPC sebesar 27,55%.

Secara keseluruhan dari Tabel 2 dapat disimpulkan, semakin meningkatnya penambahan OPC dan jumlah cairan aktivator, maka nilai porositas geopolimer ringan akan menurun.

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, dapat diambil kesimpulan :

1. Pembuatan geopolimer ringan berbahan dasar *fly ash* batubara menggunakan agen pembusa dengan penambahan semen *portland* dan cairan aktivator telah berhasil dilakukan.
2. Semakin meningkatnya penambahan semen *portland* dan jumlah cairan aktivator pada jumlah maksimal tertentu, maka nilai kuat tekan geopolimer ringan semakin meningkat, dan porositas semakin menurun.
3. Sifat mekanis terbaik geopolimer ringan terdapat pada variasi jumlah cairan aktivator 23% dengan penambahan 15% semen *portland*, dimana nilai kuat tekan yang dihasilkan sebesar 2,15 MPa, dan porositas terendah sebesar 27,55 %.

## 5.2 Saran

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

1. Untuk peneliti selanjutnya, disarankan untuk menyelidiki pengaruh konsentrasi NaOH terhadap sifat mekanis geopolimer ringan.
2. Pada saat pembuatan geopolimer ringan, peneliti selanjutnya diharapkan dapat menambahkan bahan baku lain untuk menghasilkan warna yang lebih cerah.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M.M.A.B., Hussin, K., Bahussain, M., Ismail, K.N., Yahya, Z., & Abdul R.R., (2012). *Fly Ash-based Geopolymer Lightweight Concrete Using Foaming Agent*. *Int. J. Mol. Sci.* 13, 7186–7198.
- ASTM, C., 869-91 (2012). Standar Specification for Foaming Agent Used in Making Preformed Foam for Cellular Concrete. *Annual Book of ASTM Standards*.
- Fan, F., Liu, Z., Xu, G., Peng, H., & Cai, C., S. (2018). Mechanical and thermal properties of fly ash based geopolymers. *Constr. Build. Mater.* 160, 66–81.
- Jain, D., Hindoriya, A.K., & Bhadauria, S.S. (2019). Evaluation Of Properties Of Cellular Light Weight Concrete. Presented At The Proceedings Of The International Conference On Sustainable Materials And Structures For Civil Infrastructures (SMSCI2019), Madhya Pradesh, India, 020034. 249-254
- Jitchaiyaphum, K., Sinsiri, T., & Chindaprasirt, P. (2011). Cellular lightweight concrete containing pozzolan materials. *Procedia Engineering*, 14, 1157-1164
- Muralitharan, R.S., & Ramasamy, V. (2017). Development Of Lightweight Concrete For Struktural Applications. *Civil Engineering Department. Adhiparasakhi Engineering College, Kanchipuram*, 44 (4), 1-5
- 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)*, Skripsi. Universitas Sebelas Maret.
- 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.
- Septia, P. (2015). *Literature Study Comparative Effect of Concentration of Naoh and Ratio of Naoh : Na<sub>2</sub>Sio<sub>3</sub> , Ratio of Water / Precursor , Curing Temperature , and Type of Precursor To Compression Strength*. halaman 1-1265. Tesis. Universitas Indonesia.
- Suárez-Ruiz, I., Valentim, B., Borrego, A.G., Bouzinos, A., Flores, D., Kalaitzidis, S., Malinconico, M.L., Marques, M., Misz-Kennan, M., Predeanu, G., Montes, J.R.,

- Rodrigues, S., Siavalas, G., & Wagner, N., (2017). Development of a petrographic classification of fly-ash components from coal combustion and co-combustion. (An ICCP Classification System, Fly-Ash Working Group – Commission III.). *Int. J. Coal Geol.* 183, 188–203.
- Sutandar, E., Supriyadi, A., & Andalan, C.P., (2018). Effect of Cement Variation on Properties of CLC Concrete Masonry Brick. *MATEC Web of Conferences* 159, 01015.
- Tekin, I. (2016). Properties of NaOH activated geopolymer with marble, travertine and volcanic tuff wastes. *Construction and Building Materials*, 127, 607–617.
- Zarina, Y., Mustafa Al Bakri, A. M., Kamarudin, H., Nizar, I. K., & Rafiza, A. R. (2013). Review on the various ash from palm oil waste as geopolymer material. *Reviews on Advanced Materials Science*, 34(1), 37–43.