

SKRIPSI
MIKROSTRUKTUR *GEOPOLIMER FOAMED*
CONCRETE* DENGAN VARIASI *FOAMING AGENT
DAN AIR



M. ADIL WIRASATRIA
0301181520119

JURUSAN TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2019

SKRIPSI
MIKROSTRUKTUR *GEOPOLIMER FOAMED*
CONCRETE* DENGAN VARIASI *FOAMING AGENT
DAN AIR

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik
pada Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan Fakultas Teknik Universitas
Sriwijaya**



M. ADIL WIRASATRIA
03011181520119

JURUSAN TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2019

HALAMAN PENGESAHAN

**MIKROSTRUKTUR *GEOPOLIMER FOAMED CONCRETE*
DENGAN VARIASI *FOAMING AGENT* DAN AIR**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik
pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

Oleh:

M. ADIL WIRASATRIA

03011181520119

Indralaya, Oktober 2019

Diperiksa dan disetujui oleh,

Dosen Pembimbing I,



Dr. Saloma, S.T.,M.T.

NIP. 197610312002122001

Dosen Pembimbing II,



Dr.Ir. Hanafiah, M.S.

NIP. 195603141985031002

Mengetahui/Menyetujui

Ketua Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan



Ir. Helmi Haki, M.T.

NIP. 1961070319910210

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah ini berupa skripsi ini dengan judul “Mikrostruktur *Geopolimer Foamed Concrete* dengan Variasi *Foaming Agent* dan Air” telah dipertahankan dihadapan tim penguji karya tulis ilmiah jurusan Teknik Sipil Universitas Sriwijaya pada tanggal 21 Agustus 2019.

Palembang, 21 Agustus 2019

Tim penguji karya tulis ilmiah berupa skripsi:

Ketua:

1. Dr. Saloma, S.T, M.T.
NIP. 197610312002122001

()

Anggota:

2. Dr.Ir. Hanafiah, M.S.
NIP. 195603141985031002
3. Ir. Yakni Idris, M.Sc., MSCE
NIP. 195812111987031002

()
()

4. Dr. Arie Putra Usman, ST, MT
NIP. 198605192019031007

()

5. Aditya Rachmadi, S.T., M.Eng
NIP. 198609252019031015

()

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Sipil,



Ir. Helmi Haki, M.T.
NIP. 196107031991021001

PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertandatangan dibawah ini:

Nama : M. Adil Wirasatria

NIM : 03011181520119

Judul Skripsi : Mikrostruktur *Geopolimer Foamed Concrete* dengan Variasi *Foaming Agent* dan Air

Menyatakan bahwa skripsi ini merupakan hasil karya sendiri didampingi tim pembimbing dan bukan hasil dari penjiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai dengan aturan yang berlaku. Pernyataan ini dibuat dalam keadaan sadar dan tanpa paksa siapapun



Indralaya, Oktober 2019



M. Adil Wirasatria

HALAMAN PERNYATAAN PESETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : M. Adil Wirasatria
NIM : 03011181520119
Judul : Mikrostruktur Geopolimer Foamed Concrete dengan Variasi
Foaming Agent dan Air

Memberikan izin kepada Pembimbing dan Universitas Sriwijaya untuk mempublikasikan hasil penelitian saya untuk kepentingan akademik apabila dalam waktu satu tahun tidak mempublikasikan karya penelitian saya. Dalam kasus ini saya setuju menempatkan Pembimbing sebagai penulis korespondensi (*corresponding*).

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.

Indralaya, Oktober 2019

Yang membuat pernyataan,



M. Adil Wirasatria
NIM. 03011181520119

RINGKASAN

MIKROSTRUKTUR GEOPOLIMER FOAMED CONCRETE DENGAN VARIASI FOAMING AGENT DAN AIR

Karya tulis ilmiah berupa skripsi, Oktober 2019

M. Adil Wirasatria; dibimbing oleh Dr. Saloma, S.T.,M.T. dan Dr.Ir. Hanafiah, M.S.

Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

xii + 65 halaman

Geopolymer foamed concrete adalah hasil gabungan antara beton geopolimer dan beton busa. *Geopolymer foamed concrete* merupakan solusi tentang material yang memiliki karakteristik yang baik serta berat jenis yang ringan. Penelitian ini berfokus terhadap mikrostruktur *geopolymer foamed concrete* dengan variasi *foaming agent* dan air. Material penyusun dari *geopolymer foamed concrete* adalah *fly ash*, aktivator yang terdiri dari NaOH dan Na₂SiO₃, agregat halus, air dan *foam* yang terbuat dari campuran *foaming agent* dan air dengan variasi 1:40, 1:30 dan 1:20. Penelitian ini berfokus kepada sifat mikrostruktur seperti hasil SEM dan XRD. Sampel yang digunakan berusia setelah pengecoran 28 hari. Pengujian yang dilakukan untuk membandingkan mikrostruktur dengan berat jenis dan kuat tekan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa *microcrack* mempengaruhi kuat tekan dari *geopolymer foamed concrete*. Sampel 1:40 memiliki nilai kuat tekan 17,68 MPa dengan lebar *microcrack* sebesar 3,00 mm, sampel 1:30 memiliki kuat tekan 22,13 MPa dengan lebar *microcrack* sebesar 1,96 MPa dan sampel 1:20 memiliki kuat tekan sebesar 25,33 MPa dengan lebar *microcrack* sebesar 1,85 mm. Ukuran pori mempengaruhi berat jenis pada setiap sampel walaupun perbedaan berat jenis antar sampel dibawa 10%. Hasil XRD menunjukkan bahwa ketiga sampel memiliki kandungan *quartz* yang tinggi.

Kata kunci: *Geopolymer foamed concrete*, *foam*, *foaming agent*, pori, mikrostruktur, *microcrack*

SUMMARY

GEPOLIMER FOAMED CONCRETE MICROSTRUCTURE WITH FOAMING AGENT AND WATER VARIATION

A thesis, October 2019

M. Adil Wirasatria; supervised by Dr. Saloma, S.T.,M.T. and Dr.Ir. Hanafiah, M.S.

Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Sriwijaya.

xii + 65 pages

Geopolymer foamed concrete is the result of a combination of geopolymer concrete and foam concrete. Geopolymer foamed concrete is a solution about materials that have good characteristics and light specific gravity. This research focuses on geopolymer foamed concrete microstructure foaming agents and water as the variations. The material composition from geopolymer foamed concrete is fly ash, an activator consisting of NaOH and Na₂SiO₃, fine aggregate, water and foam made from a mixture of foaming agents and water with variations of 1:40, 1:30 and 1:20. This study focuses on microstructural properties such as SEM and XRD. Samples used 28 days after mixing. The tests use to compare microstructure with specific gravity and compressive strength. The test results show that microcrack affects the compressive strength of geopolymer foamed concrete. Sample 1:40 has a compressive strength value of 17.68 MPa with a microcrack width of 3.00 mm, sample 1:30 has a compressive strength of 22.13 MPa with a microcrack width of 1.96 MPa and sample 1:20 has a compressive strength of 25, 33 MPa with a microcrack width of 1.85 mm. Pore size affects specific gravity in each sample even though the difference in density between samples is carried by 10%. The XRD results show that all three samples have high quartz content.

Keywords: Geopolymer foamed concrete, foam, foaming agent, pore microstructure, microcrack

MIKROSTRUKTUR *GEOPOLIMER FOAMED CONCRETE* DENGAN VARIASI *FOAMING AGENT* DAN AIR

M. Adil Wirasatria^{1*}, Saloma², Hanafiah³

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

²Dosen Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

³Dosen Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

*Korespondensi Penulis: adilwirasatria0000@gmail.com

Abstrak

Geopolymer foamed concrete adalah hasil gabungan antara beton geopolimer dan beton busa. *Geopolymer foamed concrete* merupakan solusi tentang material yang memiliki karakteristik yang baik serta berat jenis yang ringan. Penelitian ini berfokus terhadap mikrostruktur *geopolymer foamed concrete* dengan variasi *foaming agent* dan air. Material penyusun dari *geopolymer foamed concrete* adalah *fly ash*, aktivator yang terdiri dari NaOH dan Na₂SiO₃, agregat halus, air dan *foam* yang terbuat dari campuran *foaming agent* dan air dengan variasi 1:40, 1:30 dan 1:20. Penelitian ini berfokus kepada sifat mikrostruktur seperti hasil SEM dan XRD. Sampel yang digunakan berusia setelah pengecoran 28 hari. Pengujian yang dilakukan untuk membandingkan mikrostruktur dengan berat jenis dan kuat tekan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa *microcrack* mempengaruhi kuat tekan dari *geopolymer foamed concrete*. Sampel 1:40 memiliki nilai kuat tekan 17,68 MPa dengan lebar *microcrack* sebesar 3,00 mm, sampel 1:30 memiliki kuat tekan 22,13 MPa dengan lebar *microcrack* sebesar 1,96 MPa dan sampel 1:20 memiliki kuat tekan sebesar 25,33 MPa dengan lebar *microcrack* sebesar 1,85 mm. Ukuran pori mempengaruhi berat jenis pada setiap sampel walaupun perbedaan berat jenis antar sampel dibawa 10%. Hasil XRD menunjukkan bahwa ketiga sampel memiliki kandungan *quartz* yang tinggi.

Kata kunci: *Geopolymer foamed concrete*, *foam*, *foaming agent*, pori, mikrostruktur, *microcrack*

Palembang, Oktober 2019

Diperiksa dan disetujui oleh,

Dosen Pembimbing 1,



Dr. Saloma, S.T., M.T.

NIP. 197610312002122001

Dosen Pembimbing 2,



Dr. Ir. Hanafiah, M.S.

NIP. 195603141985031002

Mengetahui/Menyetujui
Ketua Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan,



Ir. Helmi Haki, M.T.

NIP. 196107031991021001

RIWAYAT HIDUP

Nama Lengkap : M. Adil Wirasatria
Tempat Lahir : Palembang
Tanggal Lahir : 19 Agustus 1996
Jenis Kelamin : Laki - Laki
Agama : Islam
Status : Belum Menikah
Warga Negara : Indonesia
Alamat : Jalan Salman RT 002 RW 003 Kelurahan Kebon Jeruk
Jakarta Barat
Nama Orang Tua : Satria Setiadi
Fitria
Alamat Orang Tua : Jalan Salman RT 002 RW 003 Kelurahan Kebon Jeruk
Jakarta Barat.
No. HP : +6285379790853
E-mail : adilwirasatra0000@gmail.com

Riwayat Pendidikan

Nama Sekolah	Fakultas	Jurusan	Pendidikan	Masa
SD Negeri 157 Palembang	-	-	-	2003-2009
SMP Negeri 1 Palembang	-	-	-	2009-2012
SMA Negeri 65 Jakarta	-	IPA	-	2012-2015
Universitas Sriwijaya	Teknik	Teknik Sipil dan Perencanaan	S-1	2015-2019

Demikian riwayat hidup penulis yang dibuat dengan sebenarnya.

Dengan Hormat,



M. Adil Wirasatria

NIM 03011181520119

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan penggunaan beton ringan sebagai bahan penyusun dinding saat ini mulai banyak digunakan. Pada umumnya dinding yang digunakan dalam proses konstruksi adalah bata merah yang dibuat dari tanah liat. Dalam pembuatan bata merah, diperlukan suatu proses pembakaran agar bata tersebut menjadi keras dan padat. Proses pembakaran tersebut menimbulkan asap yang dapat merusak lapisan ozon dan juga menimbulkan polusi udara di sekitar lokasi pembakaran. Hal tersebut tentu tidak sejalan dengan kondisi saat ini yang mengedepankan konsep *green material*.

Untuk mendapatkan beton ringan yang lebih baik karakteristiknya perlu dilakukan inovasi dengan menambahkan mineral tertentu ke dalam campuran beton ringan. Geopolimer merupakan mineral yang dapat ditambahkan ke dalam campuran beton ringan karena mengandung senyawa SiO_2 yang tinggi. Penambahan geopolimer ke dalam campuran beton ringan dapat meningkatkan karakteristik seperti sifat mekanik dan durabilitas.

Geopolimer merupakan senyawa kimia yang dapat berpolimerisasi dengan material yang berasal dari alam. Material geopolimer dapat ditemukan pada kandungan *fly ash*. *Fly ash* merupakan hasil dari pembakaran batubara pada tenaga pembangkit listrik mengandung zat kimia seperti Silika (SiO_2), lime (CaO), Alumina (Al_2O_3) yang merupakan bahan pembentuk semen Portland. *Fly ash* merupakan material yang ramah lingkungan karena diperoleh dari limbah pembakaran batubara pada pembangkit listrik.

Salah satu metode yang digunakan untuk membuat beton ringan yaitu dengan menambah rongga pada mortar pada saat proses pencampuran. Menambahkan *foam* pada beton merupakan metode yang digunakan untuk mendapatkan beton dengan berat jenis kurang dari 1.800 kg/m^3 . Sifat mekanik yang didapatkan dari beton ringan berupa berat jenis yang ringan namun menyebabkan kuat tekan berkurang.

Foam merupakan gelembung yang memiliki diameter 100 μm - 1 mm. *Foam* dibuat dengan mencampurkan *foam agent* dengan air pada mesin *foam generator*. Penggunaan *foam* mampu membuat pori didalam beton sehingga mengurangi berat jenis beton ringan.

Dibutuhkan inovasi berupa material yang ramah lingkungan, memiliki karakteristik yang baik serta memiliki berat jenis yang ringan. Kombinasi antara geopolimer sebagai *binder* dan *foam* sebagai pengisi diharapkan dapat menjadi inovasi dari masalah tersebut. Penelitian ini ditunjang dengan banyaknya limbah *fly ash* yang dihasilkan oleh PT. Pupuk Sriwijaya. Penelitian ini berfokus terhadap mikrostruktur *geopolymer foamed concrete* dengan variasi *foaming agent* dan air.

1.2. Perumusan Masalah

Dari latar belakang yang telah diuraikan maka perumusan masalah yang dibahas dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Bagaimana menentukan komposisi antara campuran mortar geopolimer dengan *foam* agar mendapatkan *geopolymer foamed concrete* yang baik?
2. Bagaimana pengaruh *foam* dalam campuran terhadap sifat mikrostruktur *geopolymer foamed concrete*?
3. Bagaimana pengaruh rasio *foaming agent* dan air terhadap sifat mikrostruktur *geopolymer foamed concrete*?

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan permasalahan yang ada, maka tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan dan mengembangkan komposisi antara campuran mortar geopolimer dengan *foam* untuk mendapatkan *geopolymer foam concrete* yang baik.
2. Memahami dan menganalisis pengaruh *foam* dalam campuran terhadap mikrostruktur *geopolymer foamed concrete*.
3. Memahami dan membandingkan pengaruh rasio *foaming agent* dan air terhadap sifat mikrostruktur *geopolymer foamed concrete*.

1.4. Ruang Lingkup

Ruang lingkup pada penelitian ini mengenai mengenai mikrostruktur *geopolymer foamed concrete* dengan variasi *foaming agent* dan air adalah sebagai berikut:

1. *Fly ash* yang digunakan sebagai *precursor* terlebih dahulu disaring dengan saringan no.200.
2. Larutan NaOH dan Na₂SiO₃ sebagai alkali aktivator.
3. Rasio Na₂SiO₃/NaOH sebesar 2,5.
4. Rasio agregat halus/*precursor* 1,5
5. Rasio *foaming agent* dan air 20, 30, dan 40.
6. Konsentrasi NaOH sebesar 14 molar
7. *Curing* dilakukan dengan cara benda uji ditutup menggunakan plastik *wrap*.
8. Sifat-sifat mortar yang dibahas adalah *workability*, *setting time*, berat jenis, kuat tekan dan sifat mikrostruktur.
9. Pembuatan dan pengujian benda uji berupa kubus berukuran 125 cm³.
10. Pengujian kuat tekan mortar dilakukan pada umur 28.
11. Pengujian mikrostruktur dilakukan oleh pihak yang ahli pada bidang tersebut.
12. Standar pengujian menggunakan ASTM (*American Standard Testing and Material*).

1.5. Metode Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini sumber pengumpulan data yang dilakukan dengan menggunakan dua cara, yaitu:

1. Data primer
Data primer adalah data yang diperoleh dari data penelitian secara langsung dari laboratorium.
2. Data sekunder
Sedangkan data sekunder adalah data yang diperoleh dari data penelitian yang sudah ada seperti studi pustaka sebagai referensi yang berkaitan dengan pembahasan dan data-data pengujian laboratorium.

1.6. Rencana Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan merupakan susunan atau tahapan dalam menulis suatu karya ilmiah. Dalam penyusunan laporan tugas akhir ini, dibagi menjadi lima bab antara lain sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini berisikan tentang latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian, metode pengumpulan data dan sistematika penulisan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Dalam bab ini menguraikan kajian literatur yang menjelaskan mengenai teori tentang definisi *geopolymer foamed concrete*, bahan campuran untuk pembuatan *geopolymer foamed concrete* dan pengujian mortar serta penelitian terdahulu yang menjadi acuan untuk melaksanakan penelitian ini.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Dalam bab ini membahas mengenai material dan alat-alat yang digunakan, pelaksanaan penelitian meliputi pengujian material, pembuatan benda uji serta pengujian mortar segar maupun mortar yang sudah mengeras.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini berisi tentang pengolahan data dan pembahasan berupa hasil pengujian material, *workability*, *setting time*, berat jenis dan kuat tekan mortar.

BAB 5 PENUTUP

Dalam bab ini membahas kesimpulan yang diambil dari penelitian serta saran untuk perbaikan penelitian di masa yang akan datang.

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

- Al Bakri Abdullah, M. M., Hussin, K., Bnhussain, M., Ismail, K. N., Yahya, Z., & Razak, R. A. (2012). Fly ash-based geopolymer lightweight concrete using foaming agent. *International Journal of Molecular Sciences*, 13(6), 7186–7198.
- Al Bakri, A. M. M., Kamarudin, H., Abdulkareem, O. A. K. A., Ruzaidi, C. M., Rafiza, A. R., & Norazian, M. N. (2011). Optimization of Alkaline Activator/Fly ASH Ratio on the Compressive Strength of Manufacturing Fly ASH-BASED Geopolymer. *Applied Mechanics and Materials*, 110–116 (October), 734–739.
- Allahverdi, A., & Najafi Kani, E. (2009). Construction wastes as raw materials for geopolymer binders. *International Journal of Civil Engineering*, 7(3), 154–160.
- Amran, Y. H. Mugahed, Nima Farzadnia, and A. A. Abang Ali. 2015. “Properties and Applications of Foamed Concrete; A Review.” *Construction and Building Materials* 101 (December): 990–1005..
- Arioz, E., Arioz, O., & Mete Kockar, O. (2012). An experimental study on the mechanical and microstructural properties of geopolymers. *Procedia Engineering*, 42(August), 100–105.
- ASTM International. (2010). Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in . or [50-mm] Cube Specimens) 1. *Chemical Analysis*, (C), 1–9.
- Bombatkar, S., Bajad, V., Murkut, V., Khedekar, D., & Jadhao, S. (2017). Review of Foamed Concrete. *International Journal of Research in Advent Technology (IJRAT) CONVERGENCE*, (April), 275–278.
- Davidovits, J. (2013). Geopolymer cement, 1–11.
- Davidovits, J. (2015). *Geopolymer-chemistry and applications*.
- Hajimohammadi, Ailar, Tuan Ngo, and Priyan Mendis. 2018. “Enhancing the Strength of Pre-Made Foams for Foam Concrete Applications.” *Cement and Concrete Composites* 87: 164–71.
- Hamad Mohammed, J., & Hamad, A. J. (2014). Materials, properties and application review of lightweight concrete. *Revista Tecnica de La Facultad de Ingenieria Universidad Del Zulia*, 37(2), 10–15.

- Hardjito, D., Wallah, S. E., Sumajouw, D. M. J., & Rangan, B. V. (2005). On the Development of Fly Ash-Based Geopolymer Concrete, (101), 467–472.
- Jalal, M., Tanveer, A., Jagdeesh, K., & Ahmed, F. (2017). Foam Concrete. *International Journal of Civil Engineering Research*, 8(1), 2278–3652.
- Kargin, A., Baev, V., & Mashkin, N. (2017). Fly-ash geo-polymer foamed concrete. *AIP Conference Proceedings*, 1800.
- Liu, M. Y. J., Alengaram, U. J., Jumaat, M. Z., & Mo, K. H. (2014). Evaluation of thermal conductivity, mechanical and transport properties of lightweight aggregate foamed geopolymer concrete. *Energy and Buildings*, 72, 238–245.
- Mehdipour, I., & Khayat, K. H. (2017). Effect of particle-size distribution and specific surface area of different binder systems on packing density and flow characteristics of cement paste. *Cement and Concrete Composites*, 78(January), 120–131.
- Memon, F. A., Nuruddin, M. F., Khan, S., Shafiq, N., & Ayub, T. (2013). Effect of sodium hydroxide concentration on fresh properties and compressive strength of self-compacting geopolymer concrete. *Journal of Engineering Science and Technology*, 8(1), 44–56.
- Pacheco-Torgal, F., Castro-Gomes, J., & Jalali, S. (2007). Investigations about the effect of aggregates on strength and microstructure of geopolymeric mine waste mud binders. *Cement and Concrete Research*, 37(6), 933–941.
- Pavithra, P., Srinivasula Reddy, M., Dinakar, P., Hanumantha Rao, B., Satpathy, B. K., & Mohanty, A. N. (2016). Effect of the $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ Ratio and NaOH Molarity on the Synthesis of Fly Ash-Based Geopolymer Mortar. *Geo-Chicago 2016*, 3(4), 336–344. Pawar, C., Sharma, P., & Titiksh, A. (2016). Gradation of Aggregates and its Effects on Properties of Concrete, (May).
- Richard, A., & Ramli, M. (2015). The Effects of Curing Methods on Early-age Strength of Sustainable Foamed Concrete. *Advances in Research*, 3(6), 548–557.
- Shinde, B. H., & Kadam, K. N. (2013). Properties of fly ash based geopolymer mortar. *International Journal of Engineering Research and Technology (IJERT)*, 5(1), 203–206.
- Yahya, Z., Abdullah, M. M. A. B., Talib, S. Z. A., & Razak, R. A. (2017). Comparative study on early strength of sodium hydroxide (NaOH) activated fly ash based geopolymer. *AIP Conference Proceedings*, 1887.