

# PENGARUH PEMANASAN TERHADAP KUAT TEKAN MORTAR *GEOPOLYMER*

Beny Kurniawan<sup>1</sup>, Ali Mokhtar<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Program Profesi Insinyur, Universitas Muhammadiyah Malang, Jl. Raya Tlogomas 246 Malang

Kontak Person:

Beny Kurniawan

Jl. Raya Tlogomas 246 Malang, Jawa Timur 65144

E-mail: [benykurniawantania001@gmail.com](mailto:benykurniawantania001@gmail.com)

## **Abstrak**

*Geopolymer merupakan produk beton geosintetik dimana reaksi pengikatan yang terjadi adalah reaksi polimerisasi. Dalam reaksi polimerisasi, Aluminium (Al) dan Silika (Si) mempunyai peranan penting dalam ikatan polimerisasi. Geopolymer telah banyak diteliti, beberapa peneliti telah membuktikan bahwa suhu panas sangat berdampak terhadap ikatan yang terjadi pada mortar geopolymer. Suhu panas akan memperkuat reaksi senyawa, sehingga kuat tekan dari mortar geopolimer akan meningkat seiring dengan peningkatan suhu dan lama pemanasan yang diberikan. Pada penelitian digunakan metode lama pemanasan dengan suhu 60°C. Variasi lama pemanasan yang digunakan yaitu 3, 6, 18, dan 24 jam. Mortar yang digunakan yaitu mortar geopolimer berukuran 5 x 5 x 5 cm, berbahan dasar fly ash type C dengan water solid ratio sebesar 0,35. Molaritas yang digunakan 12 M dan 14 M dengan perbandingan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3 : \text{NaOH}$  yaitu 1,5 : 1. Uji yang digunakan yakni uji kuat tekan. Kuat tekan maksimum yang dihasilkan mortar geopolimer 12 M pada usia 28 hari adalah pada lama pemanasan 24 jam dengan suhu 60°C yaitu sebesar 59,86 MPa. Sedangkan pada mortar geopolimer 14 M adalah pada lama pemanasan 3 jam dengan suhu 60°C yaitu sebesar 63,66 MPa. Lama pemanasan paling optimum yang didapatkan dari penelitian yaitu 7 jam 12 menit.*

**Kata kunci:** *Geopolymer, pemanasan, kuat tekan, mortar.*

## **1. Pendahuluan**

Penggunaan beton sebagai konstruksi utama dalam pembangunan struktur gedung dan bangunan umum banyak dipergunakan. Karena, beton adalah bahan konstruksi yang paling umum digunakan di masyarakat, yang diproduksi secara konvensional. Menurut Metha dalam Manuahe, et al. [1] konsumsi dunia untuk beton sekitar 8,8 juta ton setiap tahun, dan kebutuhan material ini akan meningkat dari tahun ke tahun sejalan dengan meningkatnya kebutuhan sarana dan prasarana dasar manusia. Penggunaan beton tidak akan lepas dari penggunaan semen sebagai bahan dasar pembuatan beton. Semen sudah menjadi andalan dalam setiap konstruksi. Semakin banyak permintaan pasar atas ketersediaan semen maka akan mendorong setiap industri semen untuk terus memproduksi semen dalam skala besar. Semakin banyak semen diproduksi maka akan semakin besar pula dampak dari produksi tersebut. Karena industri semen merupakan salah satu penyumbang polutan yang cukup besar pada pencemaran udara seperti emisi gas dan partikel debu. Dalam proses produksi semen sebagian besar menggunakan bahan bakar fosil, jadi menimbulkan dampak gas rumah kaca. Sebagai pengikat utama beton, rasio semen dalam beton tradisional adalah sekitar 10% - 15% dari massa beton. Produksi OPC telah menghasilkan masalah lingkungan selama produksi CO<sub>2</sub> dengan sekitar 1 ton CO<sub>2</sub> yang dihasilkan per 1 ton OPC [2].

Seiring berkembangnya zaman dan ilmu pengetahuan dan teknologi, mulai dikembangkan bahan alternatif pengganti semen. Salah satu bahan alternatif yang mulai dikembangkan ialah material geopolymer. Geopolymer merupakan produk beton *geosintetik* dimana reaksi pengikatan yang terjadi adalah reaksi polimerisasi. Dalam reaksi polimerisasi ini Aluminium (Al) dan Silika (Si) mempunyai peranan penting dalam ikatan polimerisasi [3]. Unsur tersebut diaktifkan langsung oleh alkali. Tanpa PC, memanfaatkan Sodium Silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ), Sodium Hidroksida (NaOH), atau Sodium Karbonat ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) sebagai aktivator [4-7].

Pada perkembangannya geopolymer telah banyak diteliti, mulai dari pengaruh variasi pengujian, variasi penambahan bahan alternatif lain, variasi molaritas, sampai dengan pemanasan dalam bentuk beton geopolimer dan mortar geopolymer. Beberapa peneliti telah membuktikan bahwa suhu panas sangat berdampak terhadap ikatan yang terjadi pada mortar geopolymer. Suhu dingin

mengakibatkan proses hidrasi sulit dicapai dan kekuatan awal mortar sulit didapatkan. Maka diperlukan panas tambahan dalam kegiatan perawatan mortar. Suhu panas akan memperkuat reaksi senyawa, sehingga kuat tekan dari mortar geopolimer akan meningkat seiring dengan peningkatan suhu yang diberikan. Oleh sebab itu, metode pemanasan sangat disarankan untuk mortar geopolimer.

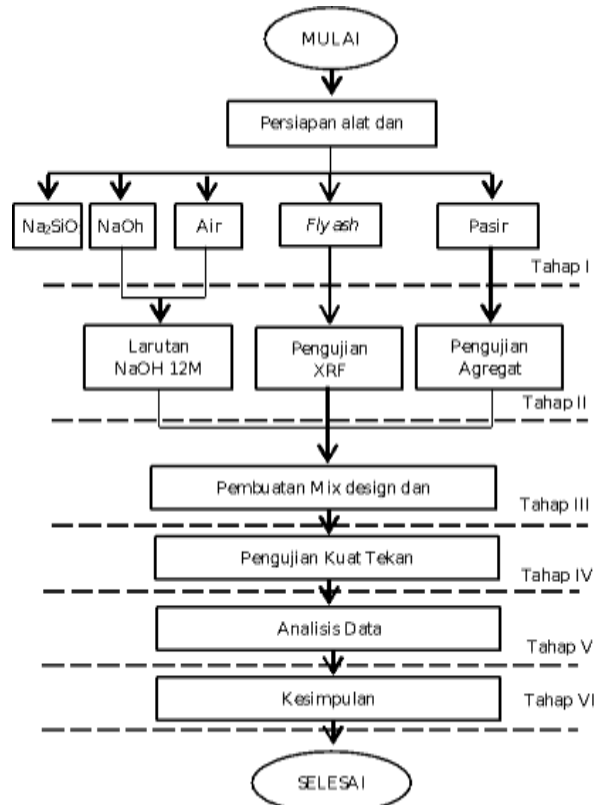
Perawatan dengan metode pemanasan membantu proses polimerisasi yang terjadi pada pasta geopolimer. Pada penelitian yang dilakukan oleh Hardjito (2010) dan Rangan, suhu perawatan pada beton geopolimer dengan prekursor fly ash menggunakan suhu 60°C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa lamanya proses perawatan beton geopolimer akan mempengaruhi kuat tekan yang dihasilkan [8].

Selain pada suhu, lama pemanasan juga berpengaruh terhadap reaksi senyawa yang ada di dalam beton geopolimer. Hasil penelitian Susilowati dan Setyono (2013) mengenai dampak perawatan terhadap kuat tekan mortar geopolimer dengan berbagai variasi aktivator menunjukkan bahwa perawatan dengan metode oven (90° selama 24 jam) dapat meningkatkan kuat tekan mortar geopolimer. Adapun peningkatan kekuatan tekanan pada umur 28 hari dengan oven (90°, selama 24 jam) lebih tinggi 56,91% dari perawatan pada suhu ruang dan perbandingan campuran yang optimum adalah 1 fly ash : 3 pasir dan perbandingan 0,4 aktivator dengan konsistensi 9M NaOH : Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> 1 [9]. Menurut penelitian Bakharev, et al. [4] penelitian terhadap beton geopolimer yang berbahan dasar slag dengan kandungan CaO lebih dari 10 % yang sama dengan kandungan dari Fly ash kelas C ini dipanaskan dengan suhu 70°C dengan lama pemanasan 3 jam beton memiliki kekuatan tekan sebesar 14 MPa, dengan lama pemanasan 6 jam beton memiliki kekuatan tekan sebesar 17 MPa, dan dengan lama pemanasan 24 jam beton memiliki kekuatan tekan sebesar 21 MPa [2, 10]. Menurut penelitian Manuahe, et al. [1] yang menggunakan fly ash kelas F dengan kandungan CaO kurang dari 10 % ini beton geopolimer pada umur 7 hari melalui curing temperature 60°C dengan variasi curing time selama 4 jam, 8 jam, 12 jam dan 24 jam dapat disimpulkan, bahwa semakin lama curing time maka semakin besar kuat tekan yang dihasilkan. Kuat tekan optimum yang dihasilkan pada curing time selama 24 jam dengan nilai  $f'c = 27,462$  Mpa. Semakin lama pemanasan yang dilakukan maka semakin besar kekuatan beton geopolimer yang didapatkan.

Berdasarkan penelitian terdahulu, penulis bermaksud melakukan penelitian dengan menggunakan variasi lama pemanasan dengan menggunakan benda uji mortar geopolimer dan menggunakan molaritas tinggi yakni 12 dan 14 M. Bahan dasar yang digunakan adalah fly ash kelas C. Mortar geopolimer dengan bahan dasar fly ash kelas C tersebut dapat mengeras pada suhu ruangan saja. Dengan dilakukan pemanasan pada beton diharapkan akan meningkatkan kekuatan tekan yang dihasilkan. Karena mortar geopolimer akan cepat bereaksi pada suhu tinggi.

## **2. Metode Penelitian**

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimental untuk mencari dan menghasilkan data yang akan membuktikan hubungan antar variabel. Metode ini dilaksanakan di dalam laboratorium. Hasil yang telah didapatkan nantinya akan dianalisis secara statistik kuantitatif. Metode – metode tersebut akan digunakan untuk menganalisa hasil visual dari pengujian yang dilakukan. Variasi lama pemanasan yang dilakukan adalah 3 jam, 6 jam, 18 jam, dan 24 jam pada suhu 60°C. Dimensi benda uji yaitu kubus dengan ukuran sisi 5 cm x 5 cm x 5 cm. Pengujian yang dilakukan yaitu pengujian kuat tekan dengan menggunakan alat tekan (Compression Machine Test) yang sesuai dengan standar SNI 03-0691-1996. Pengujian dilakukan pada umur beton mencapai 3,7,14, dan 28 hari. Tahap dan prosedur penelitian sebagai berikut:



**Gambar 1** Flowchart penelitian.

Tahap awal pembuatan mortar dengan melakukan variasi mix design dengan perbedaan perbandingan Sodium Silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) dengan Sodium Hidroksida ( $\text{NaOH}$ ). Selanjutnya apabila telah didapatkan percobaan terhadap mortar tersebut, maka hasilnya dapat diterapkan pada pembuatan mix design benda uji nantinya. Mix design tersebut digunakan untuk pembuatan mortar dengan usia 3, 7, 14, dan 28 hari dengan ukuran  $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$ . Dalam pembuatan penggunaan alkali aktivator, peneliti mengambil hasil penelitian Nath dan Sarker yang menggunakan perbandingan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  dan  $\text{NaOH}$  diambil 1,5.

**Tabel 1** Rencana Komposisi Mortar 12M

	Control 1	Control 2	BU 1	BU 2	BU 3	BU 4
Semen	1	-	-	-	-	-
FA	-	100%	100%	100%	100%	100%
Pasir	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75
$\text{NaOH}$	-	0,212	0,212	0,212	0,212	0,212
$\text{Na}_2\text{SiO}_3$	-	0,318	0,318	0,318	0,318	0,318
Aktifator	-	12 M	12 M	12 M	12 M	12 M
Air	0,485	0,075	0,075	0,075	0,075	0,075
Lama Pemanasan	-	-	3 jam	6 jam	18 jam	24 jam
Suhu Pemanasan	25°C	25°C	60°C	60°C	60°C	60°C
Usia	3,7,14, 28 Hari	3,7,14, 28 Hari	3,7,14, 28 Hari	3,7,14, 28 Hari	3,7,14, 28 Hari	3,7,14, 28 Hari

**Tabel 2 Rencana Komposisi Mortar 14 M**

	Control 1	Control 2	BU 1	BU 2	BU 3	BU 4
Semen	1	-	-	-	-	-
FA	-	100%	100%	100%	100%	100%
Pasir	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75
NaOH	-	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	-	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
Aktifator	-	14 M	14 M	14 M	14 M	14 M
Air	0,485	0,075	0,075	0,075	0,075	0,075
Lama Pemanasan	-	-	3 jam	6 jam	18 jam	24 jam
Suhu Pemanasan	25°C	25°C	60°C	60°C	60°C	60°C
Usia	3,7,14, 28 Hari	3,7,14, 28 Hari	3,7,14,28 Hari	3,7,14,28 Hari	3,7,14,28 Hari	3,7,14,28 Hari

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Analisa Perbandingan Molaritas terhadap Usia Pengujian

**Tabel 3 Hasil Uji Kuat Tekan dalam 28 hari.**

	Pemanasan	Hasil Kuat Tekan (MPa)
2 M	Suhu Ruang	41,61
	3 jam , 60°C	52,41
	6 jam , 60°C	58,91
	18 jam , 60°C	58,96
	24 jam , 60°C	59,86
4 M	Suhu Ruang	56,15
	3 jam , 60°C	63,66
	6 jam , 60°C	52,63
	18 jam , 60°C	45,66
	24 jam , 60°C	47,14



**Gambar 2** Grafik Hasil Uji Kuat Tekan dalam 28 hari.

Dari **Tabel 3** dan dari **Gambar 2** diatas, menunjukkan hasil pengujian kuat tekan dari mortar *geopolimer* 12 M dan 14 M dalam 28 hari. Kali ini didapatkan nilai kuat tekan paling rendah terdapat pada mortar 14 M dengan variasi lama pemanasan 18 jam dengan suhu 60°C yaitu sebesar 45,66 MPa. Berbeda dengan hari pengujian sebelumnya nilai kuat tekan paling tinggi didapatkan pada mortar 14 M dengan variasi lama pemanasan 3 jam dengan suhu 60°C yakni sebesar 63,66 MPa.

Dapat dilihat pada mortar *geopolymer* 12M pada usia 28 hari ini nilai kuat tekan terendah terdapat pada variasi pemanasan 3 jam 60 °C yaitu sebesar 52,41 MPa dan nilai kuat tekan tertinggi berada pada variasi lama pemanasan 24 jam 60 °C yaitu sebesar 59,86 MPa. Pada mortar *geopolymer* dengan kepekatan 12 M di usia 28 hari ini semakin lama pemanasan yang diberikan maka semakin meningkat kekuatan yang dihasilkan, dan juga penambahan kekuatan yang dihasilkan cenderung stabil.

Pada mortar *geopolymer* dengan kepekatan 14 M pada usia 28 hari, nilai kuat tekan yang terendah terdapat pada variasi pemanasan 18 jam 60 °C yaitu sebesar 45,66 MPa dan nilai kuat tekan tertinggi terdapat pada variasi pemanasan 3 jam dengan suhu 60°C, kuat tekan mencapai 63,66 MPa. Nilai kuat tekan menurun setelah dipanaskan selama 6 jam dengan suhu 60°C di angka 52,63 MPa, dan nilai kuat tekan semakin turun saat dipanaskan hingga 18 jam dengan suhu 60°C pada angka 45,66 MPa. Nilai kuat tekan mengalami kenaikan yang sedikit saat pemanasan diteruskan selama 24 jam dengan suhu 60°C yaitu sebesar 47,14 MPa.

### 3.2 Analisa Kuat Tekan Mortar *Geopolymer*

**Tabel 4** Hasil Uji Kuat Tekan mortar *geopolimer* 12 M.

	Pemanasan	Hasil Kuat Tekan (MPa)			
		3 hari	7 hari	14 hari	28 hari
12 M	Suhu Ruang	27,74	28,83	40,83	41,61
	3 jam , 60°C	29,61	31,96	46,00	52,41
	6 jam , 60°C	35,43	37,85	47,44	58,91
	18 jam , 60°C	42,80	44,49	49,32	58,96
	24 jam , 60°C	44,78	53,44	55,70	59,86



**Gambar 3** Grafik Hasil Uji Kuat Tekan mortar *geopolimer* 12M.

Pada **Gambar 3** terlihat kuat tekan yang paling tinggi terdapat pada umur pengujian 28 hari. Karena mortar *geopolimer* pada usia tersebut telah mengalami proses pengikatan yang baik, dengan kata lain reaksi pengikatan antara alkali aktivator dengan unsur Si dan Al yang terkandung di dalam *fly ash* dapat berikatan secara baik dan sempurna. Pemanasan yang diberikan kepada mortar *geopolimer* 12 M sangat membantu proses polimerisasi. Dapat dilihat dari Gambar 3, bahwa tidak adanya penurunan pada grafik akibat pemanasan yang diberikan tersebut. Semakin lama pemanasan yang diberikan kepada mortar maka semakin besar pula kuat tekan yang dihasilkan. Mulai dari 3 jam pemanasan, nilai kuat tekan akan terus meningkat sampai pada pemanasan 24 jam. Dapat disimpulkan bahwa metode curing dengan cara pemanasan sangat membantu proses polimerisasi pada mortar *geopolimer* 12 M. Dapat dilihat pula dari beberapa variasi pada gambar di atas, lama pemanasan selama 24 jam dengan suhu 60°C adalah lama pemanasan paling maksimum yang dapat dihasilkan



**Tabel 5** Hasil Uji Kuat Tekan mortar *geopolimer* 14 M.

	Pemanasan	Hasil Kuat Tekan (MPa)			
		3 hari	7 hari	14 hari	8 hari
14 M	Suhu Ruang	19,98	32,12	45,18	6,15
	3 jam , 60°C	22,38	37,75	51,60	3,66
	6 jam , 60°C	27,82	38,46	47,11	2,63
	18 jam , 60°C	33,94	35,14	43,73	5,66
	24 jam , 60°C	38,59	40,38	45,51	7,14



**Gambar 4** Grafik Hasil Uji Kuat Tekan mortar *geopolymer* 12M.

Pada **Gambar 4** terlihat juga kuat tekan yang paling tinggi terdapat pada umur pengujian 28 hari. Karena mortar *geopolimer* pada usia tersebut telah mengalami proses pengikatan yang baik, dengan kata lain reaksi pengikatan antara alkali aktivator dengan unsur Si dan Al yang terkandung di dalam *fly ash* telah dapat berikatan secara baik dan sempurna. Pemanasan yang diberikan terhadap mortar *geopolimer* 14 M tidak banyak berpengaruh dalam proses polimerisasi. Terlihat dari Gambar 4, grafik pada umur pengujian 3 hari saja yang mengalami peningkatan seiring bertambahnya lama pemanasan yang diberikan. Grafik pada usia pengujian 7 hari menunjukkan adanya penurunan tetapi cenderung masih stabil. Pada grafik usia pengujian 14 hari terlihat penurunan setelah dipanaskan selama 3 jam. Dan setelah 6 jam turun dan cenderung stabil. Pada grafik usia pengujian 28 hari terlihat jelas lama pemanasan yang menghasilkan kuat tekan paling tinggi adalah lama pemanasan 3 jam. Karena mortar *geopolimer* 14 M termasuk mortar yang memiliki kandungan NaOH yang cukup tinggi. Mortar *geopolimer* yang memiliki kandungan NaOH tinggi cepat bereaksi dengan unsur Si dan Al yang terdapat pada *fly ash*. Setting time yang diperlukan juga relatif lebih cepat. Maka mortar *geopolimer* 14 M hanya membutuhkan waktu pemanasan sebagai metode curing yang relatif singkat. Karena apabila pemanasan terlalu lama maka akan menghilangkan kandungan yang masih diperlukan di dalam mortar pada usia muda (3 hari) akibatnya pada usia pengujian 28 hari akan tampak nilai kuat tekan turun. Karena unsur atau kandungan yang masih diperlukan pada proses polimerisasi pada usia 28 hari telah habis. Maka dapat disimpulkan bahwa lama pemanasan yang paling maksimum yang dihasilkan pada mortar *geopolimer* dengan kepekatan 14 M adalah 3 jam dengan suhu 60°C.

Apabila di ambil nilai kuat tekan mortar 12 M dan 14 M pada usia matang yaitu pada usia 28 hari dan dibandingkan akan terlihat seperti **Gambar 5** dibawah ini.





**Gambar 5** Grafik *trendline* hasil uji kuat tekan mortar *geopolymer* 12 m dan 14 m pada usia 28 hari

Pada **Gambar 5** diatas terlihat *Trendline* dari hasil pengujian kuat tekan mortar 12 M dan 14 M pada usia 28 hari. Kedua *Trendline* memiliki 2 rumus yang berbeda. Dan terdapat perpotongan antara 2 *Trendline* tersebut. Perpotongan garis tersebut akan menunjukkan lama pemanasan yang optimum yakni 7 jam 12 menit dengan kuat tekan yang dihasilkan 56,14 MPa.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan tujuan yang mendahului dan hasil penelitian pengaruh lama pemanasan mortar *geopolymer* berbahan dasar *fly ash* yang telah dibahas, dapat ditarik beberapa kesimpulan berupa kuat tekan yang dihasilkan dari lama pemanasan *mortar geopolymer* dengan kepekatan 12 M pada usia 28 hari sangat berpengaruh dan mengalami peningkatan seiring bertambahnya waktu/ lama pemanasan. Dan kuat tekan yang paling maksimum terlihat pada lama pemanasan 24 jam pada suhu 60°C pada usia 28 hari yaitu sebesar 59,86 MPa. Kuat tekan yang dihasilkan dari lama pemanasan *mortar geopolymer* dengan kepekatan 14 M pada usia 28 hari tidak berpengaruh banyak dan tidak mengalami peningkatan seiring bertambahnya waktu / lama pemanasan. Kuat tekan yang paling maksimum terlihat pada lama pemanasan 3 jam pada suhu 60°C pada usia 28 hari yaitu sebesar 63,66 MPa. Pada penelitian kali ini didapatkan lama pemanasan yang optimum untuk mortar *geopolymer* dengan kepekatan 12M dan 14M pada usia 28 yaitu selama 7 jam 12 menit dengan suhu 60°C yang menghasilkan kuat tekan optimum sebesar 56,14 MPa.

#### Referensi

- [1] R. Manuahe, M. D. Sumajouw, and R. S. Windah, "Kuat Tekan Beton Geopolymer Berbahan Dasar Abu Terbang (Fly Ash)," *Jurnal Sipil Statik*, vol. 2, no. 6, 2014.
- [2] A. Wardhono, D. W. Law, and T. C. Molyneaux, "Long term performance of alkali activated slag concrete," *Journal of Advanced Concrete Technology*, vol. 13, no. 3, pp. 187-192, 2015.
- [3] J. Davidovits and calorimetry, "Geopolymers: inorganic polymeric new materials," *Journal of Thermal Analysis*, vol. 37, no. 8, pp. 1633-1656, 1991.
- [4] T. Bakharev, J. G. Sanjayan, Y.-B. J. C. Cheng, and c. research, "Effect of elevated temperature curing on properties of alkali-activated slag concrete," vol. 29, no. 10, pp. 1619-1625, 1999.
- [5] D. W. Law, A. A. Adam, T. K. Molyneaux, I. Patnaikuni, and A. Wardhono, "Long term durability properties of class F fly ash geopolymer concrete," *Materials Structures*, vol. 48, no. 3, pp. 721-731, 2015.
- [6] A. Wardhono, D. W. Law, and T. C. Molyneaux, "Flexural Strength of low calcium class F Fly ash-based Geopolymer concrete in Long term Performance," in *Materials Science Forum*, 2016, vol. 841, pp. 104-110: Trans Tech Publ.
- [7] A. Wardhono, C. Gunasekara, D. W. Law, S. J. C. Setunge, and B. materials, "Comparison of long term performance between alkali activated slag and fly ash geopolymer concretes," vol. 143, pp. 272-279, 2017.
- [8] A. a. Pujiyanto, "Kuat Tekan Beton Geopolimer dengan Bahan Utama Bubuk Lumpur Lapindo dan Kapur," *Jurnal Sipil Statik*, vol. 7, pp. 24-26, 2013.



- [9] N. L. Khoiriyah and P. Maisytoh, "Karakteristik Mortar Geopolimer Dengan Perawatan Oven Pada Berbagai Variasi Waktu Curing," *Jurnal Poli-Teknologi*, vol. 15, no. 1, 2016.
- [10] A. Wardhono, D. W. Law, and A. J. P. E. Strano, "The strength of alkali-activated slag/fly ash mortar blends at ambient temperature," vol. 125, pp. 650-656, 2015.