

PENGARUH RASIO L/D ANTRA LAPISAN MORTAR GEOPOLIMER BERBAHAN DASAR FLYASH TERHADAPA KUAT TEKAN BETON DENGAN SEAWATER CURING

Syahidah Fani Nastiti¹⁾, Sajidah Fani Pangesti²⁾

¹Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang
Jl. Semarang, No. 5, Ke. Lowokwaru, Kota Malang
email: syahidah.faninastiti.ft@um.ac.id

²Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Jalan Raya ITS, Kec. Sukolilo, Kota Surabaya
email: 5013211021@mhs.its.ac.id

ABSTRAK

The performance and durability of concrete in construction is essential to maintain the sustainability and protection of the material. Particularly in construction in marine environments, the attack of aggressive chemical compounds can affect concrete and accelerate deterioration. This research aims to improve the performance and durability of concrete in construction in marine environments by using additional protection methods such as Surface Applied Protection. One of the materials used is geopolymer mortar that uses fly ash as a base material. This study shows that geopolymer mortar contributes positively to the compressive strength and durability of concrete. The thickness of the geopolymer mortar layer affected the mechanical properties of the concrete, and 4 cm thick gave the highest compressive strength results. The addition of geopolymer mortar needs to be adjusted to the compressive strength of the concrete and pay attention to the layer thickness for optimal results.

Kata kunci: *protection material, marine environment, L/D ratio, geopolymer mortar, compressive strength*

ABSTRAK

Kinerja dan ketahanan beton dalam konstruksi sangat penting untuk menjaga kelestarian dan perlindungan material. Khususnya pada konstruksi di lingkungan laut, serangan senyawa kimia agresif dapat mempengaruhi beton dan mempercepat kerusakan. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan kinerja dan ketahanan beton pada konstruksi di lingkungan laut dengan menggunakan metode perlindungan tambahan seperti Surface Applied Protection. Salah satu material yang digunakan adalah mortar geopolimer yang menggunakan bahan dasar fly ash. Penelitian ini menunjukkan bahwa mortar geopolimer memberikan kontribusi positif terhadap kuat tekan dan durabilitas beton. Ketebalan lapisan mortar geopolimer mempengaruhi sifat mekanik beton, dan tebal 4 cm memberikan hasil kuat tekan yang paling tinggi. Penambahan mortar geopolimer perlu disesuaikan dengan kuat tekan beton dan memperhatikan ketebalan lapisan agar hasil optimal.

Kata kunci: bahan proteksi, lingkungan laut, L/D rasio, mortar geopolimer, kuat tekan

PENDAHULUAN

Kinerja durabilitas beton sangat penting selama masa layan sebuah konstruksi. Peran beton pada material konstruksi salah satunya sebagai material proteksi baik fisik maupun kimia pada baja tulangan terhadap korosi. Sifat alkali yang dimiliki beton sangat berkaitan dengan lapisan pasifisasi pada permukaan tulangan baja. Perlindungan dari beton yang baik tergantung pada kualitas dari campuran beton tersebut. [1], [2]

Konstruksi bangunan di lingkungan laut berbeda dengan konstruksi bangunan di darat. Perlu diperhatikan bahwa senyawa kimia agresif yang terkandung di dalam air laut mampu mempengaruhi durabilitas material beton, sehingga memungkinkan terjadinya kerusakan lebih awal daripada masa layan yang direncanakan [3], [4]. Perlindungan tambahan diperlukan untuk material beton yang digunakan di lingkungan air laut. Salah satu metode yang digunakan adalah dengan cara memberikan proteksi atau perbaikan beton dengan Surface Applied Protection, memberikan lapisan baru di atas permukaan beton lama. Memberikan lapisan dengan ketebalan tertentu sangat efisien untuk memperpanjang masa layan konstruksi struktur beton yang terekspos di lingkungan laut. [5]-[7]

Fly ash sebagai salah satu material dasar pembuatan geopolimer berpotensi sebagai material proteksi yang menunjukkan hasil positif perlindungan yang baik terhadap serangan kimia yaitu klorida maupun sulfat. Bahkan beberapa penelitian menyatakan durability lebih unggul dengan menggunakan material geopolimer sebagai bahan proteksi yang direndam pada berbagai macam senyawa kimia seperti asam sulfat, magnesium sulfat, asam nitrat dan senyawa kimia lainnya. Kinerja geopolimer yang baik dipengaruhi oleh karakteristik fisik dan kimia dari fly ash dan komposisi campuran serta alkali aktivator yang digunakan pada geopolimer. [8]-[11] Kandungan Si dan Al pada proses geopolimerisasi yang menghasilkan ikatan polimerik aluminosilikat yang stabil meskipun terendam di air laut. Penggunaan fly ash sebagai bahan dasar geopolimer juga lebih baik dalam

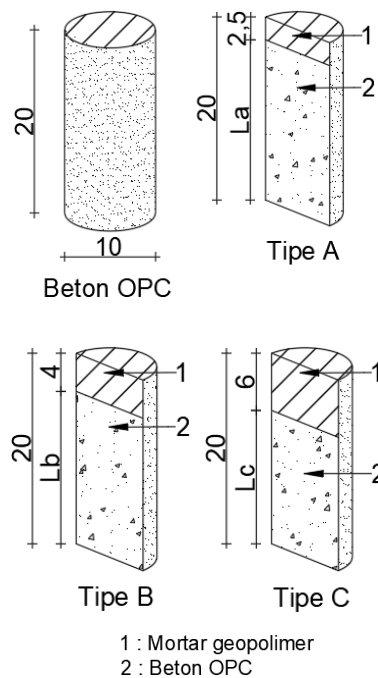
kapasitas pengikatan. Perubahan fisik mortar geopolimer yang direndam di air laut dari perubahan dimensi terjadi lebih kecil dibandingkan mortar semen [12]–[14] Variasi tebal lapisan mempengaruhi laju korosi pada beton geopolimer direndam pada air garam, dengan variasi tebal 8 cm lebih lambat terjadi korosi daripada tebal lapisan beton geopolimer yang lebih kecil. Persyaratan untuk tebal selimut beton yang kontak langsung dengan udara atau tanah adalah 40-50 mm. [15]

Penelitian ini juga bertujuan untuk menginvestigasi pengaruh variasi ketebalan lapisan mortar geopolimer terhadap kuat tekan beton normal yang direndam di lingkungan laut. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan baru dalam penggunaan mortar geopolimer sebagai material proteksi yang efisien dan tahan lama pada konstruksi struktur yang terpapar di lingkungan air laut.

METODE PENELITIAN

Fly ash kelas F didapatkan dari PLTU Suralaya sebagai dasar mortar geopolimer. Presentase campuran antara pasta geopolimer dan pasir masing-masing 72% dan 28%. Pembuatan pasta geopolimer dengan rasio fly ash dan alkali aktivator adalah 65:35. Campuran alkali aktivator menggunakan Na_2SiO_3 dan NaOH 12M dengan rasio 2.5. Na_2SiO_3 dipakai tipe BE-52 yang didapatkan dari PT. Kasmaji Inti Utama dengan komposisi kimia yang dimiliki yaitu Na_2O (18.5%), SiO_2 (36.4%), dan H_2O (45.1%).

Spesimen pada penelitian ini berbentuk silinder dengan diameter 10 cm dan tinggi 20 cm. Kuat tekan rencana beton OPC adalah 35 MPa. Setelah beton OPC berumur 30 hari, mortar geopolimer sebagai lapisan di aplikasikan di atas silinder beton dengan variasi 3 ketebalan antara lain 2.5, 4, dan 6 cm, seperti ditunjukkan pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Rasio L/D pada Spesimen Tipe A, B, dan C

Pada tipe A dengan tebal lapisan sebesar 2.5 cm, tipe B sebesar 4 cm, dan tipe C sebesar 6 cm. Rasio L/D pada tiga tipe spesimen direncanakan secara berurutan adalah 1.75, 1.6 dan 1.4. Visualisasi lapisan mortar geopolimer yang melapisi beton siinder di ditampilkan pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Visualisasi Mortar Geopolimer yang Melapisi Beton

Beton OPC yang sudah dilapisi kemudian di moist curing selama 42 hari sebelum direndam ke dalam air laut. Semua spesimen direndam pada daerah pasang surut yang terletak ± 30 m dari bibir pantai yang terletak di Pantai Kenjeran. Spesimen diuji pada umur rendaman pada seawater curing yaitu, 0 hari, 30 hari, 60 hari, dan 90. Uji kuat tekan beton yang dilakukan berdasarkan ASTM C 39 untuk mengetahui sifat mekanik dari spesimen beton. Spesimen yang direndam di air laut dilapisi dengan epoxy resin sebagai coating seperti yang disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Spesimen yang Direndam pada Seawater Curing Dilapisi dengan Epoxy Resin

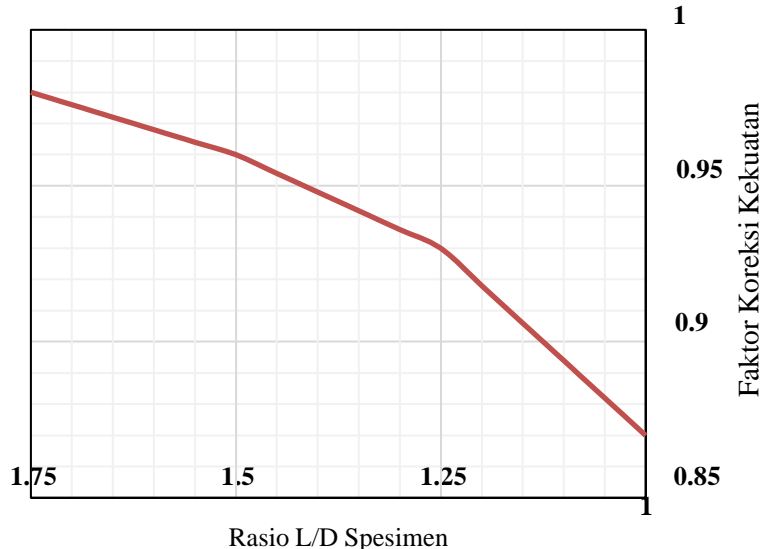
HASIL DAN PEMBAHASAN

TABEL 1. HASIL KUAT TEKAN SILINDER TIPE A, B, DAN C DAN BESARNYA KONTRIBUSI MORTAR GEOPOLIMER

Tipe Spesimen	Kuat Tekan
	(MPa)
Tipe A	35.9
Tipe B	37.2
Tipe C	38.8

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan pada beton OPC yang dicapai pada umur 30 hari adalah sebesar 32.3 MPa. Untuk hasil pengujian kuat tekan mortar geopolimer sebagai bahan lapisan pada beton OPC adalah sebesar 60.3 MPa pada umur 30 hari. Dan hasil pengujian kuat tekan untuk spesimen tipe A, B dan C pada umur 30 hari (sebelum direndam di seawater curing) ditampilkan pada **Tabel 1**.

Adanya perbedaan variasi tebal pelapisan pada spesimen silinder beton OPC berpengaruh pada variasi rasio L/D. Sebagai perbandingan beton OPC pada kondisi tinggi normal atau 20 cm yang telah dilakukan pengujian kuat tekan, kemudian dilakukan perhitungan nilai kuat tekan dengan faktor koreksi L/D berdasarkan ASTM C42-03 pada **Gambar 4**. Hasil perhitungan kuat tekan dengan faktor koreksi disajikan pada **Tabel 2**.



Gambar 4. Rasio L/D sesuai dengan ASTM C42-03

Tabel 2. HASIL KUAT TEKAN BETON OPC DENGAN FAKTOR KOREKSI BERDASARKAN ASTM C42-03

Type Spesimen	Tinggi beton OPC (cm)	Tebal lapisan mortar (cm)	L/D	Faktor Koreksi (ASTM C42-03)	Kuat Tekan beton OPC setelah dikoreksi (MPa)
Normal	20	0	2	1	32.3
Tipe A	17.5	2.5	1.75	0.980	33.0
Tipe B	16	4	1.6	0.968	33.4
Tipe C	14	6	1.4	0.948	34.1

Perhitungan faktor koreksi pada beton OPC di ketiga tipe spesimen bisa menentukan kontribusi mortar geopolimer yang berpengaruh terhadap kuat tekan spesimen. Semakin tebal lapisan mortar geopolimer yang berbanding terbalik dengan ketinggian beton OPC, makin meningkatkan kuat tekan dari spesimen. Hasil kuat tekan ketiga spesimen pada kondisi sebelum direndam pada air laut serta besarnya kontribusi dapat dilihat pada **Tabel 3** dan **Tabel 4**.

Tabel 3. HASIL KUAT TEKAN SILINDER TIPE A, B, DAN C DAN BESARNYA KONTRIBUSI MORTAR GEOPOLIMER

Type Spesimen	Kuat Tekan (MPa)	
	spesimen	Beton OPC
Tipe A	35.9	33.0
Tipe B	37.2	33.4
Tipe C	38.8	34.1

Hasil kuat tekan spesimen tertinggi diperoleh spesimen tipe B yaitu 38.8 MPa dimana dari kuat tekan beton OPC diperoleh 34.1 MPa dan mortar geopolimer memberikan kontribusi kuat tekan terhadap beton silinder sebesar 4.7 MPa. Dengan variasi tipe A hingga tipe C, selisih kuat tekan kontribusi dari mortar geopolimer adalah sebesar 0.9 MPa.

Tabel 4. KONTRIBUSI MORTAR GEOPOLIMER TERHADAP KUAT TEKAN BETON

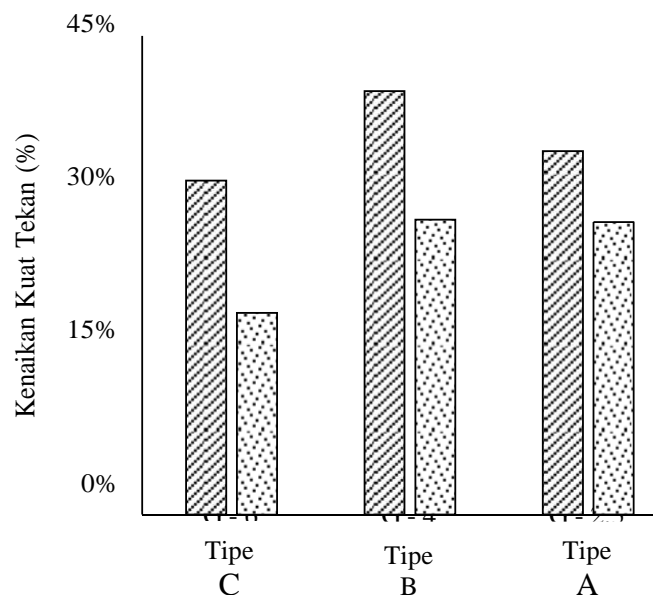
Tipe Spesimen	Kuat Tekan (MPa)	
	<i>Kontribusi mortar pelapis</i>	
Tipe A	2.9	
Tipe B	3.8	
Tipe C	4.7	

Hasil kuat tekan dari 3 tipe spesimen pada kondisi awal sebelum direndam (initial) dan setelah proses perendaman hingga 90 hari di air laut ditampilkan pada **Tabel 5**. Pengujian dilakukan dengan metode berdasarkan ASTM C 39.

Tabel 5. HASIL KUAT TEKAN TIPE A, B, DAN C HINGGA UMUR RENDAMAN 90 HARI DENGAN SEAWATER CURING

Tipe Spesimen	Kuat Tekan (MPa)			
	<i>Initial</i>	<i>Seawater curing</i>		
	0 hari	30 hari	60 hari	90 hari
Tipe A	35.9	33.8	37.7	48.1
Tipe B	37.2	33.3	41.4	52.0
Tipe C	38.8	33.3	44.8	51.0

Kuat tekan mengalami penurunan pada 30 hari umur rendaman. Akan tetapi nilai kuat tekan ketiga tipe spesimen kemudian mengalami kenaikan pada rendaman umur 60 hingga 90 hari. Dari hasil kuat tekan tersebut dapat dihitung presentase penurunan maupun kenaikan hasil kuat tekan setelah direndam pada air laut hingga 90 hari, yang disajikan pada **Gambar 5** dan **Tabel 6**.



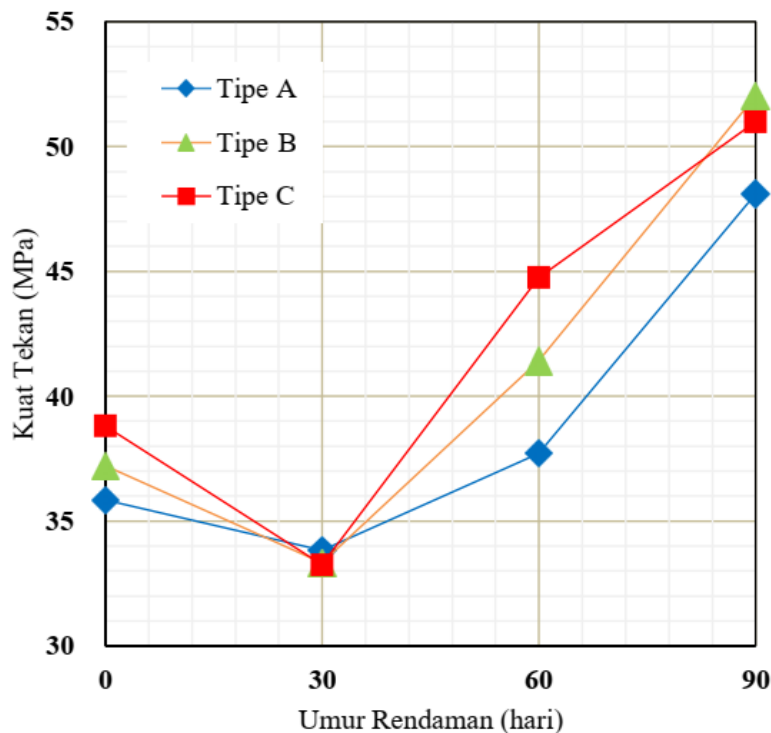
Gambar 5. Kenaikan Kuat Tekan Spesimen di Umur Rendaman 90 Hari

Tabel 6. PERSENTASE KENAIKAN KUAT TEKAN TIPE A, B, DAN C HINGGA UMUR RENDAMAN 90 HARIDENGAN SEAWATER CURING

Tipe Spesimen	% kenaikan kuat tekan		
	<i>Seawater curing</i>		
	30 hari	60 hari	90 hari
Tipe A	-6%	+5%	+34%
Tipe B	-10%	+11%	+40%
Tipe C	-14%	+15%	+31%

Persentase kenaikan kuat tekan terbesar diperoleh pada spesimen Tipe B di umur rendaman 90 hari yaitu sebesar 40%. Sedangkan di umur rendaman 60 hari persentase kenaikan kuat tekan terbesar diperoleh spesimen

Tipe C. Berdasarkan hasil kuat tekan yang digambarkan pada gambar 6, dapat dilihat bahwa penurunan terjadi pada 30 hari umur perendaman pada semua tipe spesimen. Akan tetapi nilai kuat tekan ketiga tipe spesimen kemudian mengalami kenaikan pada rendaman umur 60 hingga 90 hari. Dari hasil kuat tekan tersebut dapat dihitung presentase penurunan maupun kenaikan hasil kuat tekan setelah direndam pada air laut hingga 90 hari.



Gambar 6. Grafik Kuat Tekan Spesimen dengan Umur Rendaman

Albitar, dkk (2017) menyatakan bahwa nilai kuat tekan beton OPC yang menurun dipengaruhi oleh serangan sulfat yang terjadi saat usia perendaman 14 hari, sedangkan geopolimer meningkat kekuatannya hingga umur 60 hari. Sulfat yang terkandung dalam air laut beraksi akan dengan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dan gypsum bereaksi dengan C3A, kedua proses tersebut membentuk mineral ettringit pada celah beton sehingga berpotensi menyebabkan retakan. Retakan yang berasal dari dalam beton mampu merubah kekuatan beton. [16]

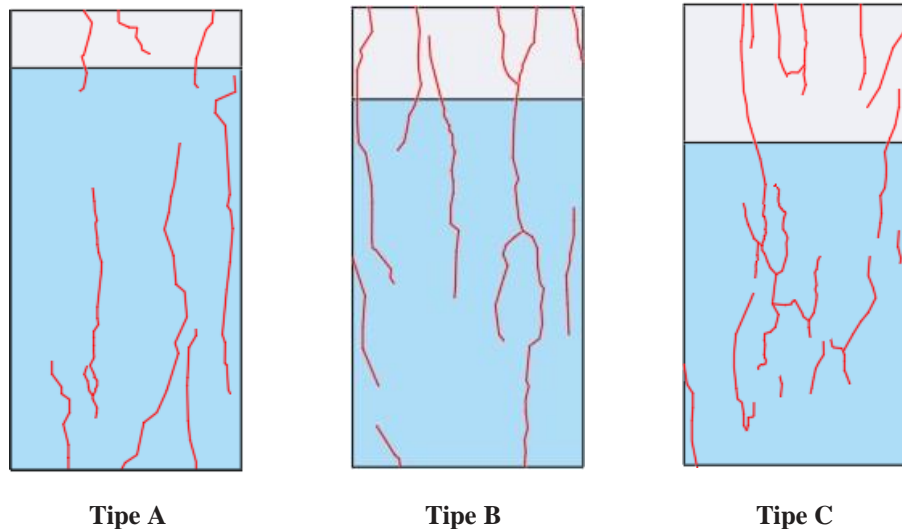


Gambar 7. Spesimen Tipe A, B dan C yang Telah Diuji Kuat Tekan

Nilai kuat tekan beton OPC mempengaruhi kegagalan beton induk yang memiliki kuat tekan lebih rendah dibandingkan bahan repair (Tarmidzi, 2016). Berdasarkan perbandingan L/D kuat tekan dari material beton OPC serta mortar geopolimer sangat mempengaruhi kehancuran spesimen. Hasil pengujian silinder beton ditunjukkan pada Gambar 7.

Gambar 8 menunjukkan bahwa kehancuran beton OPC terjadi lebih dahulu dibandingkan mortar

geopolimer, karena beton OPC memiliki nilai kuat tekan lebih rendah dibandingkan mortar geopolimer dengan rasio L/D jauh lebih kecil. Sehingga dengan rasio L/D beton OPC yang lebih besar dengan mortar geopolimer yang tipis, menunjukkan bahwa kehancuran beton OPC hampir merata.



Gambar 8. Pola keretakan pada spesimen tipe A, B, dan C

SIMPULAN

Berdasarkan pengujian yang dilakukan, hasil yang diperoleh yaitu: (1) Kuat tekan meningkat seiring dengan kontribusi kuat tekan mortar geopolimer yang meningkat akibat rasio L/D yang diberikan kepada beton OPC pada kondisi sebelum perendaman dan (2) Kuat tekan spesimen tertinggi pada umur rendaman 90 hari adalah pada tebal mortar geopolimer 4 cm. Perlu diperhatikan bahwa penambahan mortar geopolimer pada beton OPC harus menyesuaikan dengan kuat tekan beton OPC dan tebal mortar geopolimer sangat mempengaruhi kondisi sifat mekanik beton OPC.

REFERENSI

- [1] M. Albitar, M. S. Mohamed Ali, P. Visintin, and M. Drechsler, "Durability evaluation of geopolimer and conventional concretes," *Constr Build Mater*, vol. 136, pp. 374–385, Apr. 2017, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.01.056.
- [2] A. Abd El Fattah, I. Al-Duais, K. Riding, and M. Thomas, "Field evaluation of corrosion mitigation on reinforced concrete in marine exposure conditions," *Constr Build Mater*, vol. 165, pp. 663–674, Mar. 2018, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.01.077.
- [3] M. Otieno, H. Beushausen, and M. Alexander, "Chloride-induced corrosion of steel in cracked concrete - Part I: Experimental studies under accelerated and natural marine environments," *Cem Concr Res*, vol. 79, pp. 373–385, Jan. 2016, doi: 10.1016/j.cemconres.2015.08.009.
- [4] R. A. Razak, N. A. Maliki, M. M. Al Bakri Abdullah, P. W. Ken, Z. Yahya, and S. Junaidi, "Performance of fly ash based geopolimer concrete in seawater exposure," in *AIP Conference Proceedings*, American Institute of Physics Inc., May 2021. doi:10.1063/5.0044260.
- [5] "Concrete Repair and Maintenance Illustrated, PH Emmons".
- [6] Z. Zhang, X. Yao, and H. Wang, "Potential application of geopolymers as protection coatings for marine concrete III. Field experiment," *Appl Clay Sci*, vol. 67–68, pp. 57–60, Oct. 2012, doi: 10.1016/J.CLAY.2012.05.008.
- [7] Z. Zhang, X. Yao, and H. Zhu, "Potential application of geopolymers as protection coatings for marine concrete I. Basic properties," *Appl Clay Sci*, vol. 49, no. 1–2, pp. 1–6, 2010, doi: 10.1016/j.clay.2010.01.014.
- [8] A. Leonard Wijaya, J. Jaya Ekaputri, and Triwulan, "Factors influencing strength and setting time of fly ash based-geopolimer paste," in *MATEC Web of Conferences*, EDP Sciences, Dec. 2017. doi: 10.1051/mateconf/201713801010.
- [9] J. Satria, A. Sugiarto, and D. Hardjito, "Effect of Variability of Fly Ash Obtained from the Same Source on the Characteristics of Geopolimer."

- [10] A. Widayanti, R. Asih Aryani Soemitro, H. Suprayitno, and J. Jaya Ekaputri, "Characterization and compressive strength of fly ash based-geopolymer paste," in *MATEC Web of Conferences*, EDP Sciences, Aug. 2018. doi: 10.1051/mateconf/201819501023.
- [11] Antoni, S. W. Wijaya, and D. Hardjito, "Compressive strength of geopolymer based on the fly ash variation," in *Materials Science Forum*, Trans Tech Publications Ltd, 2016, pp. 98–103. doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.841.98.
- [12] Z. Zhang, X. Yao, and H. Zhu, "Potential application of geopolymers as protection coatings for marine concrete I. Basic properties," *Appl Clay Sci*, vol. 49, no. 1–2, pp.1–6, 2010, doi: 10.1016/j.clay.2010.01.014.
- [13] F. Tittarelli, A. Mobili, C. Giosuè, A. Belli, and T. Bellezze, "Corrosion behaviour of bare and galvanized steel in geopolymer and Ordinary Portland Cement based mortars with the same strength class exposed to chlorides," *Corros Sci*, vol. 134, pp. 64–77, Apr. 2018, doi: 10.1016/J.CORSCI.2018.02.014.
- [14] J. Kwasny, T. A. Aiken, M. N. Soutsos, J. A. McIntosh, and D. J. Cleland, "Sulfate and acid resistance of lithomarge-based geopolymer mortars," *Constr Build Mater*, vol. 166, pp. 537–553, Mar. 2018, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.01.129.
- [15] L. Novia Halim and J. Jaya Ekaputri, "The Influence of Salt Water on Chloride Penetration in Geopolymer Concrete."
- [16] M. F. Alnahhal, U. J. Alengaram, M. Z. Jumaat, B. Alsubari, M. A. Alqedra, and K. H. Mo, "Effect of aggressive chemicals on durability and microstructure properties of concrete containing crushed new concrete aggregate and non-traditional supplementary cementitious materials," *Constr Build Mater*, vol. 163, pp. 482–495, Feb. 2018, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.12.106.