

ANALISIS PENGARUH VARIASI PERBANDINGAN KADAR AGREGAT HALUS 1:2,75-1:3,5 SEBAGAI BAHAN SUBSTITUSI MORTAR TERHADAP KUAT TEKAN, PENYERAPAN, DENSITAS, DAN DURABILITAS MORTAR GEOPOLIMER

Dzaky Perkasa Tri Zulna; Mochamad Solikin
Program studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik,
Universitas Muhammadiyah Surakarta

Abstrak

Mortar merupakan material konstruksi yang tersusun dari campuran bahan pengikat, agregat halus, serta menggunakan air yang berfungsi sebagai perekat pada pekerjaan pasangan dan plesteran. Semen portland umumnya digunakan untuk pembuatan mortar, namun penggunaannya menghasilkan emisi karbon dioksida yang cukup tinggi. Oleh karena itu, mortar geopolimer berbasis fly ash diteliti untuk mencari alternatif yang lebih ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh kadar perbandingan agregat halus terhadap kuat tekan, penyerapan air, densitas, dan durabilitas mortar geopolimer serta membandingkannya dengan mortar konvensional. Material yang digunakan meliputi fly ash, pasir Merapi, natrium hidroksida (NaOH), dan natrium silikat (Na_2SiO_3). Variasi perbandingan bahan pengikat terhadap agregat halus yang dipakai adalah 1:2,75 dan 1:3,5. Benda uji berbentuk kubus dengan dimensi $5 \times 5 \times 5$ cm dan diuji pada usia 28 hari. Hasil penelitian menunjukkan mortar geopolimer dengan perbandingan 1:2,75 menghasilkan kuat tekan rata-rata tertinggi sebesar 13,84 MPa, disisi lain kadar 1:3,5 sebesar 8,90 MPa. Nilai penyerapan air menurun dari 12,58% menjadi 7,63% seiring bertambahnya agregat halus. Densitas mortar geopolimer juga menurun dari $2,05 \text{ g/cm}^3$ menjadi $1,86 \text{ g/cm}^3$. Pengujian durabilitas menunjukkan bahwa perendaman dalam larutan NaCl menyebabkan penurunan kuat tekan pada mortar geopolimer, sedangkan mortar konvensional cenderung mengalami peningkatan kuat tekan. Secara keseluruhan, variasi perbandingan 1:2,75 memberikan kinerja terbaik pada mortar geopolimer karena memiliki kuat tekan dan densitas yang lebih baik dibandingkan variasi 1:3,5.

Kata Kunci: mortar geopolimer, kuat tekan, densitas, durabilitas.

Abstract

Mortar is a construction material composed of a binder, fine aggregate, and water, which functions as an adhesive in masonry and plastering works. Conventional mortar generally uses Portland cement as the primary binder; however, its production generates significant carbon dioxide emissions. Therefore, fly ash-based geopolymer mortar has been developed as a more environmentally friendly alternative. This study aims to analyze the effect of fine aggregate ratio variations on the compressive strength, water absorption, density, and durability of geopolymer mortar and to compare its performance with conventional mortar. The materials used in this study were Class C fly

ash, Merapi sand, sodium hydroxide (NaOH), and sodium silicate (Na_2SiO_3). The binder-to-fine aggregate ratios investigated were 1:2.75 and 1:3.5. Cube specimens measuring $5 \times 5 \times 5$ cm were prepared and tested at the age of 28 days. The results showed that the geopolymer mortar with a ratio of 1:2.75 achieved the highest average compressive strength of 13.84 MPa, while the 1:3.5 ratio produced a compressive strength of 8.90 MPa. Water absorption decreased from 12.58% to 7.63% as the proportion of fine aggregate increased. The density of geopolymer mortar also decreased from 2.05 g/cm^3 to 1.86 g/cm^3 . Durability testing revealed that immersion in a sodium chloride (NaCl) solution reduced the compressive strength of geopolymer mortar, whereas conventional mortar tended to show an increase in compressive strength. Overall, the 1:2.75 ratio provided the best performance for geopolymer mortar, resulting in higher compressive strength and density than the 1:3.5 ratio.

Keywords: geopolymer mortar, compressive strength, density, durability.

1. PENDAHULUAN

Mortar geopolimer merupakan material konstruksi yang dalam praktiknya tidak menggunakan semen sebagai bahan *binder*, melainkan memanfaatkan material yang tinggi akan senyawa silika (Si) dan alumina (Al), seperti fly ash. Kandungan silika dan alumina yang tinggi pada fly ash memungkinkan terjadinya proses geopolimerisasi sehingga material tersebut dapat berperan sebagai *binder* dalam campuran mortar. Berdasarkan SNI 06-6867-2002, fly ash adalah endapan berupa abu halus sisa dari pembakaran batu bara pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang terbawa bersama gas buang melalui cerobong pembakaran. (Aliva et al., 2024)

Pemanfaatan fly ash untuk bahan pengikat dalam mortar geopolimer menjadi salah satu solusi untuk mengurangi dampak negatif yang disebabkan oleh industri semen terhadap lingkungan. Penggunaan fly ash tidak hanya dapat menekan konsumsi semen Portland, tetapi juga membantu mengurangi akumulasi limbah industri yang berpotensi mencemari lingkungan. Dengan demikian, mortar geopolimer memiliki potensi sebagai material konstruksi yang lebih berkelanjutan dibandingkan mortar konvensional. (Aliva et al., 2024)

Agar senyawa silika serta alumina yang terkandung dalam fly ash dapat berkerja dan membentuk ikatan geopolimer, diperlukan larutan aktivator alkali. Aktivator

yang paling banyak digunakan adalah natrium hidroksida (NaOH) dan natrium silikat (Na_2SiO_3). (Karyawan Salain et al., 2021). Natrium hidroksida berfungsi melarutkan senyawa silika dan alumina dari fly ash, sedangkan natrium silikat berperan dalam mempercepat pembentukan jaringan polimer anorganik yang menghasilkan struktur mortar yang lebih padat. Kombinasi kedua larutan tersebut sangat menentukan kualitas ikatan serta sifat mekanik mortar geopolimer yang dihasilkan. (Diah et al., n.d.)

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengkaji pengaruh komposisi material terhadap karakteristik mortar geopolimer. Penelitian Santosa et al. (2014) dan Lestari dan Widodo (2016) menunjukkan bahwa sifat mekanik mortar sangat dipengaruhi oleh jenis dan proporsi bahan penyusunnya. Salah satu penelitian yang banyak dijadikan acuan adalah studi Pavithra et al. (2016) berjudul *“Effect of the $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ Ratio and NaOH Molarity on the Synthesis of Fly Ash-Based Geopolymer Mortar”*. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa rasio Na_2SiO_3 terhadap NaOH sebesar 1,5 menghasilkan kuat tekan optimum. Selain itu, peningkatan molaritas NaOH pada 8 M dapat meningkatkan kuat tekan mortar geopolimer, sedangkan penggunaan molaritas yang lebih tinggi justru menyebabkan penurunan kinerja material. (Pavithra et al., n.d.)

Selain jenis dan komposisi aktivator alkali, perbandingan antara bahan pengikat dan agregat halus juga berpengaruh terhadap karakteristik mortar geopolimer. Penambahan agregat halus yang berlebihan dapat mengurangi jumlah pasta geopolimer yang berfungsi mengikat partikel agregat sehingga menyebabkan penurunan kuat tekan. Sebaliknya, proporsi agregat yang sesuai mampu menghasilkan susunan partikel yang lebih rapat dan mengurangi volume rongga dalam mortar. Peningkatan rasio agregat halus pada mortar geopolimer berbasis fly ash cenderung menurunkan kuat tekan akibat berkurangnya efektivitas ikatan antara pasta geopolimer dan agregat. Oleh karena itu, penentuan perbandingan agregat halus yang optimum menjadi salah satu faktor penting dalam menghasilkan mortar geopolimer dengan sifat mekanik dan durabilitas yang baik. (Guades, 2016)

Hasil-hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa komposisi larutan aktivator memiliki peranan penting dalam menentukan performa mortar geopolimer berbasis fly ash. Namun, penelitian mengenai penggunaan agregat halus sebagai substitusi mortar dengan aktivator berupa natrium silikat (Na_2SiO_3) dan natrium hidroksida (NaOH) masih perlu dikembangkan lebih lanjut. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis kuat tekan mortar geopolimer berbasis fly ash yang diaktivasi menggunakan larutan Na_2SiO_3 dan NaOH pada umur pengujian 28 hari.

2. METODE

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental yang mengacu pada berbagai penelitian terdahulu sebagai dasar dalam penyusunan dan pelaksanaan penelitian. Seluruh kegiatan penelitian dilaksanakan di Laboratorium Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta. Tahapan penelitian meliputi studi literatur, persiapan alat dan bahan, pengujian material, perencanaan campuran (mix design), pembuatan benda uji, curing, pengujian benda uji, serta analisis dan pembahasan hasil penelitian. Material yang digunakan terdiri atas fly ash tipe F sebagai bahan pengikat pada mortar geopolimer, semen Portland Composite Cement (PPC) untuk mortar konvensional, pasir Merapi sebagai agregat halus, air, natrium hidroksida (NaOH), dan natrium silikat (Na_2SiO_3) sebagai larutan aktivator alkali.

Perencanaan campuran mortar menggunakan metode SNI dengan rencana kuat tekan sebesar 25 Mpa, dengan rasio perbandingan pasir dengan fly ash sebesar 1:2,75 dan 1:3,5. Perencanaan campuran mortar geopolimer dan mortar konvensional dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 1. Perencanaan campuran Mortar Geopolimer per m³

Kadar Variasi	Fly Ash	Air	Pasir	NaOH	Na ₂ SiO ₃	Total
	kg	kg	kg	kg	kg	Kg/m ³

MG 1:2,75	491,14	205	1350,41	65,6	32,8	2144,95
MG 1:3,5	408,82	205	1432,73	65,6	32,8	2144,95

Tabel 2. Perencanaan campuran Mortar Normal per m³

Kadar Variasi	Semen kg	Air kg	Pasir kg	Total Kg/m ³
MP 1:2,75	491,14	205	1350,41	2046,55
MP 1:3,5	408,82	205	1432,73	2046,55

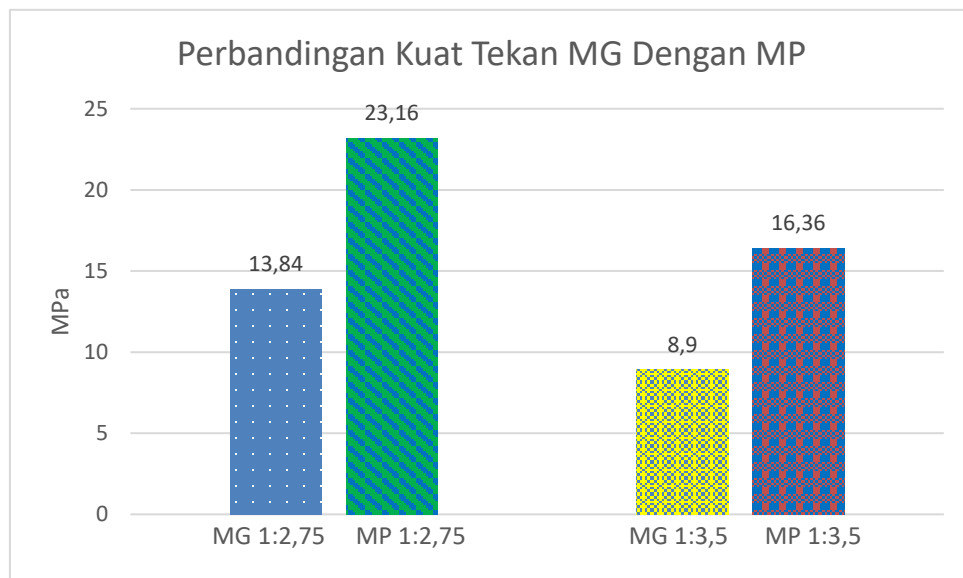
Benda uji yang digunakan berbentuk kubus berukuran 5 cm × 5 cm × 5 cm. Mortar geopolimer dibuat menggunakan fly ash tipe F yang diaktivasi dengan larutan NaOH dan Na₂SiO₃, sedangkan mortar konvensional menggunakan semen PPC sebagai bahan pengikat. Setelah pencetakan, benda uji mortar geopolimer didiamkan selama 24 jam pada suhu ruang kemudian dilakukan curing menggunakan oven pada suhu 100°C selama 24 jam. Sementara itu, mortar konvensional dirawat sesuai prosedur curing yang berlaku hingga umur pengujian. Pengujian dilakukan pada umur 28 hari yang meliputi pengujian kuat tekan menggunakan Universal Testing Machine (UTM), pengujian penyerapan berdasarkan ASTM C642-06, pengujian densitas berdasarkan SNI 1973:2016, serta pengujian durabilitas melalui perendaman dalam larutan natrium klorida (NaCl). Hasil pengujian selanjutnya dianalisis untuk mengetahui pengaruh variasi perbandingan agregat halus terhadap kuat tekan, porositas, densitas, dan durabilitas mortar geopolimer serta dibandingkan dengan mortar konvensional.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan dilakukan pada benda uji berbentuk kubus berukuran 5 × 5 × 5 cm pada umur 28 hari menggunakan Universal Testing Machine

(UTM). Hasil pengujian menunjukkan bahwa variasi perbandingan agregat halus memberikan pengaruh terhadap kuat tekan mortar geopolimer maupun mortar konvensional. Mortar geopolimer dengan perbandingan bahan pengikat terhadap agregat halus sebesar 1:2,75 menghasilkan kuat tekan rata-rata sebesar 13,84 MPa, sedangkan pada perbandingan 1:3,5 diperoleh kuat tekan rata-rata sebesar 8,90 MPa. Sementara itu, mortar konvensional menghasilkan kuat tekan rata-rata sebesar 23,16 MPa pada variasi 1:2,75 dan 16,36 MPa pada variasi 1:3,5.



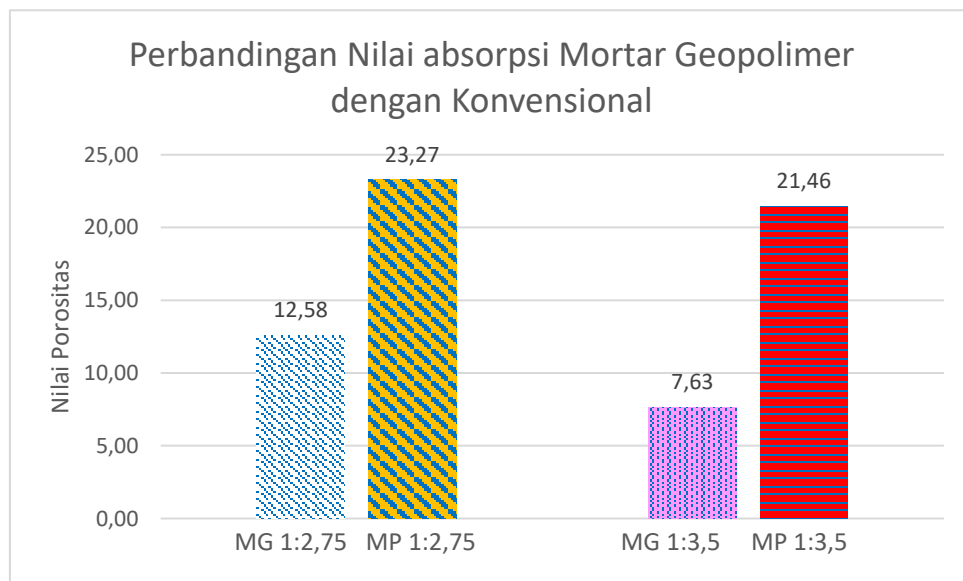
Penurunan kuat tekan yang terjadi pada mortar geopolimer akibat peningkatan proporsi agregat halus menunjukkan bahwa jumlah pasta geopolimer yang tersedia untuk mengikat agregat menjadi semakin sedikit. Kondisi tersebut menyebabkan terbentuknya zona transisi yang lebih lemah antara pasta dan agregat sehingga kemampuan mortar dalam menahan beban tekan mengalami penurunan. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian (Guades, 2016) yang menyatakan bahwa peningkatan kandungan agregat halus tanpa diimbangi peningkatan bahan pengikat dapat menurunkan kuat tekan mortar geopolimer karena proses geopolimerisasi menjadi kurang efektif.

Selain itu, kuat tekan mortar konvensional yang lebih tinggi dibandingkan mortar geopolimer menunjukkan bahwa proses hidrasi semen Portland masih menghasilkan matriks pengikat yang lebih kuat dibandingkan

proses geopolimerisasi fly ash yang digunakan dalam penelitian ini. Hal tersebut mengindikasikan bahwa komposisi aktivator dan kandungan fly ash yang digunakan masih dapat dioptimalkan untuk meningkatkan performa mortar geopolimer.

3.2 Pengujian Penyerapan Air

Pengujian penyerapan air dilakukan untuk mengetahui kemampuan mortar menyerap air yang berkaitan dengan jumlah rongga yang terdapat dalam struktur mortar. Hasil pengujian menunjukkan bahwa mortar geopolimer dengan perbandingan 1:2,75 memiliki nilai penyerapan rata-rata sebesar 12,58%, sedangkan pada perbandingan 1:3,5 nilai penyerapan menurun menjadi 7,63%. Pada mortar konvensional diperoleh nilai penyerapan sebesar 23,27% untuk variasi 1:2,75 dan 21,46% untuk variasi 1:3,5.



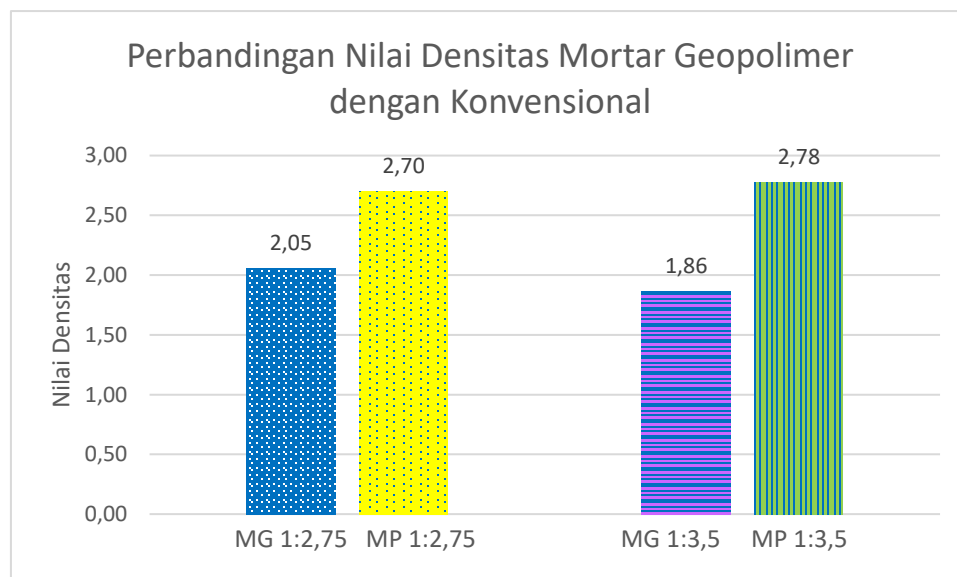
Penurunan nilai penyerapan pada variasi 1:3,5 menunjukkan bahwa peningkatan jumlah agregat halus mampu memperbaiki susunan partikel dalam mortar. Partikel agregat yang lebih banyak berfungsi sebagai pengisi (filler) yang mengurangi ruang kosong di dalam matriks mortar sehingga jumlah pori yang terbentuk menjadi lebih sedikit. Semakin rendah nilai penyerapan air, maka semakin rapat struktur internal mortar yang terbentuk.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa mortar geopolimer memiliki

nilai penyerapan yang lebih rendah dibandingkan mortar konvensional. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa matriks geopolimer yang terbentuk memiliki pori terbuka yang lebih sedikit sehingga berpotensi memberikan ketahanan yang lebih baik terhadap penetrasi air dan zat agresif dari lingkungan.

3.3 Pengujian Densitas Mortar

Densitas merupakan parameter yang menunjukkan tingkat kepadatan suatu material. Berdasarkan hasil pengujian, mortar geopolimer dengan variasi 1:2,75 memiliki densitas rata-rata sebesar 2,05 g/cm³, sedangkan pada variasi 1:3,5 mengalami penurunan menjadi 1,86 g/cm³. Pada mortar konvensional diperoleh densitas sebesar 2,70 g/cm³ untuk variasi 1:2,75 dan 2,78 g/cm³ untuk variasi 1:3,5.



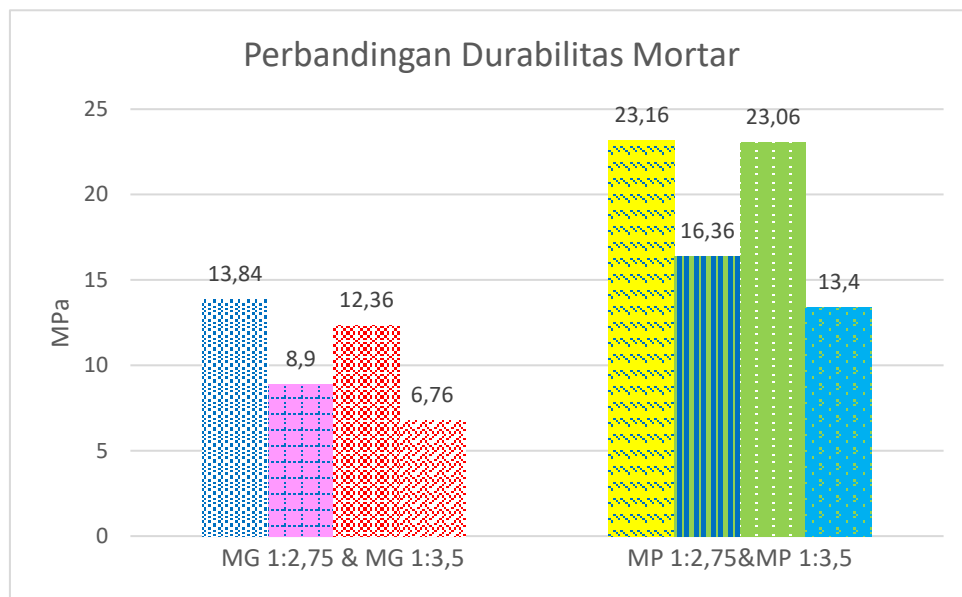
Penurunan densitas pada mortar geopolimer menunjukkan bahwa peningkatan agregat halus menyebabkan jumlah pasta geopolimer yang berfungsi sebagai pengikat semakin berkurang. Akibatnya, ikatan antarpartikel menjadi kurang optimal sehingga struktur mortar menjadi kurang padat. Sebaliknya, pada mortar konvensional terjadi peningkatan densitas karena agregat halus mampu mengisi rongga-rongga antarpartikel dan menghasilkan susunan yang lebih rapat.

Hubungan antara densitas dan kuat tekan pada penelitian ini menunjukkan kecenderungan yang sama. Mortar dengan densitas yang lebih

tinggi menghasilkan kuat tekan yang lebih besar. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat kepadatan mortar berpengaruh langsung terhadap kemampuan material dalam menahan beban tekan.

3.4 Pengujian Durabilitas Mortar dalam Larutan NaCl

Pengujian durabilitas dilakukan dengan merendam benda uji dalam larutan natrium klorida (NaCl) untuk mensimulasikan lingkungan yang mengandung ion klorida, seperti daerah pesisir. Hasil pengujian menunjukkan bahwa mortar geopolimer mengalami penurunan kuat tekan setelah perendaman. Pada variasi 1:2,75 kuat tekan menurun dari 13,84 MPa menjadi 9,34 MPa, sedangkan pada variasi 1:3,5 menurun dari 8,90 MPa menjadi 6,76 MPa. Sebaliknya, mortar konvensional menunjukkan kuat tekan sebesar 23,06 MPa pada variasi 1:2,75 dan 13,40 MPa pada variasi 1:3,5 setelah perendaman NaCl.



Hasil pengujian durabilitas menunjukkan bahwa mortar geopolimer mengalami penurunan kuat tekan setelah perendaman, yaitu dari 13,84 MPa menjadi 9,34 MPa (32,5%) pada variasi 1:2,75 dan dari 8,90 MPa menjadi 6,76 MPa (24,0%) pada variasi 1:3,5. Sebaliknya, mortar konvensional mampu mempertahankan kuat tekannya dengan lebih baik, di mana variasi 1:2,75 hanya mengalami penurunan sebesar 0,4%, sedangkan variasi 1:3,5 turun 18,1%. Hasil ini menunjukkan bahwa mortar konvensional memiliki durabilitas yang lebih baik dibandingkan mortar

geopolimer terhadap proses perendaman. Temuan ini sejalan dengan penelitian Nurhuda dkk. (2022) yang melaporkan bahwa mortar PCC memiliki kinerja yang lebih stabil dibandingkan mortar geopolimer karena proses hidrasi yang masih berlanjut sehingga mampu mempertahankan kekuatannya. Sementara itu, Zhuang dkk. (2017) melaporkan bahwa perendaman mortar geopolimer dalam larutan NaCl 5% hanya menyebabkan penurunan kuat tekan yang relatif kecil, sehingga perbedaan hasil dengan penelitian ini diduga dipengaruhi oleh perbedaan komposisi bahan penyusun dan proporsi campuran yang digunakan

4. PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, variasi perbandingan agregat halus berpengaruh terhadap karakteristik mortar geopolimer. Variasi 1:2,75 menghasilkan kuat tekan dan densitas yang lebih tinggi dibandingkan variasi 1:3,5, dengan nilai kuat tekan masing-masing sebesar 13,84 MPa dan 8,90 MPa. Meskipun peningkatan proporsi agregat halus mampu menurunkan nilai penyerapan dari 12,58% menjadi 7,63%, densitas mortar juga mengalami penurunan dari 2,05 g/cm³ menjadi 1,86 g/cm³. Selain itu, mortar konvensional menunjukkan kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan mortar geopolimer pada seluruh variasi campuran. Hasil pengujian durabilitas juga menunjukkan bahwa perendaman dalam larutan NaCl menyebabkan penurunan kuat tekan mortar geopolimer. Secara keseluruhan, variasi perbandingan agregat halus 1:2,75 memberikan kinerja terbaik karena menghasilkan sifat mekanik yang lebih baik dibandingkan variasi 1:3,5.

4.2 Saran

Sebagai upaya pengembangan penelitian semakin lebih baik, terdapat beberapa rekomendasi untuk penelitian, serta rekomendasi untuk penelitian lebih lanjut sebagai berikut :

1. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan variasi molaritas NaOH maupun rasio $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ untuk memperoleh campuran mortar geopolimer yang lebih optimum.
2. Perlu dilakukan pengujian pada umur mortar yang lebih bervariasi serta pengujian mikrostruktur agar hubungan antara komposisi campuran dan sifat mortar dapat dianalisis lebih mendalam.

3. Penelitian berikutnya dapat menggunakan jenis *fly ash*, metode *curing*, dan sumber agregat halus yang berbeda untuk meningkatkan performa mortar geopolimer.

PERSANTUNAN

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta atas fasilitas, sarana, serta dukungan yang telah diberikan selama pelaksanaan penelitian. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada seluruh laboran dan staf Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta yang telah memberikan bimbingan, bantuan teknis, serta arahan selama proses pengujian hingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Aliva, A., Zainuri, & Megasari, W. (2024). Kekuatan Tekan dan Penyerapan Mortar Geopolimer dengan Bahan Tambah Limbah Abu Tempurung Kelapa. *Jurnal Konstruksia*, 16.
- Diah, *, Febriyanti, A., & Wardhono, A. (n.d.). Pengaruh Substitusi Kapur Pada Mortar Geopolimer Berbasis Fly Ash Dan Abu Sekam Padi Dengan NaOH 8 Molar (Vol. 10, Number 1).
- Guades, E. J. (2016). Experimental investigation of the compressive and tensile strengths of geopolymer mortar: The effect of sand/fly ash (S/FA) ratio. *Construction and Building Materials*, 127, 484–493.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.10.030>
- Karyawan Salain, I. M. A., Wiryasa, N. M. A., & Adi Pamungkas, I. N. M. M. (2021). KUAT TEKAN BETON GEOPOLIMER MENGGUNAKAN ABU TERBANG. *JURNAL SPEKTRAN*, 9(1), 76.
<https://doi.org/10.24843/spektran.2021.v09.i01.p09>
- Pavithra, P., Reddy, S., Dinakar, ; P, Rao, ; B Hanumantha, Satpathy, ; B K, Mohanty, A. N., Student, P. D., & Kong, H. (n.d.). *Effect of the Na₂SiO₃/NaOH Ratio and NaOH Molarity on the Synthesis of Fly Ash-Based Geopolymer Mortar*.