

PENGARUH VARIASI PROPORSI KADAR AGREGAT HALUS TERHADAP KUAT TEKAN, DURABILITAS, DENSITAS, DAN PENYERAPAN AIR PADA MORTAR GEOPOLIMER

Yunita Endah Saputri, Mochamad Solikin
Program studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik,
Universitas Muhammadiyah
Surakarta

Abstrak

Mortar merupakan material konstruksi yang tersusun atas campuran semen portland, agregat halus, dan air. Guna mengurangi semen dalam pembuatan mortar, inovasi pengembangan mortar geopolimer memberikan manfaat positif terhadap berbagai aspek konstruksi serta lingkungan. Karena kuat tekan mortar sangat dipengaruhi oleh perbandingan semen dan pasir maka diperlukan kajian variasi binder dan pasir yang optimum. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis dampak penggunaan *fly ash* terhadap sifat-sifat mekanis mortar geopolimer. Campuran mortar geopolimer yang digunakan dalam penelitian merupakan hasil eksperimen dengan memanfaatkan *fly ash* sebagai bahan pengganti semen dan pasir sebagai agregat halus pada perbandingan 1:2 dan 1:2,75, sampel berukuran 50 x 50 mm menjalani proses *curing* selama 28 hari sebelum dilakukan pengujian kuat tekan. Berdasarkan hasil penelitian, diketahui bahwa kuat tekan sampel MG 1:2 adalah 14,8 MPa, lebih tinggi dibandingkan dengan sampel MG 1:2,75 yaitu 13,84 MPa. Sementara itu, sampel MP 1:2 mencapai kuat tekan sebesar 41,78 MPa, lebih tinggi dari sampel MP 1:2,75 yang mendapatkan kuat tekan 22,8 MPa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan *fly ash* menghasilkan nilai kuat tekan yang lebih optimal pada proporsi campuran 1:2 dibandingkan dengan 1:2,75. Penambahan kandungan *fly ash* yang lebih tinggi mengakibatkan peningkatan nilai *densitas*, serta penurunan penyerapan air pada mortar geopolimer. Sehingga menurut (SNI 03-6882-2002) semua sampel memenuhi spesifikasi serta termasuk dalam kategori mortar Tipe S.

Kata Kunci: Variasi Agregat, *Fly Ash*, Mortar Geopolimer, Kuat Tekan, Densitas, Penyerapan Air, Durabilitas

Abstract

Mortar is a construction material composed of a mixture of Portland cement, fine aggregate, and water. Innovations in geopolymer mortar development offer positive benefits for both construction and the environment by reducing the reliance on cement. Since mortar compressive strength is heavily influenced by the cement-to-sand ratio, it is essential to determine the optimal binder-to-sand variation. This study aims to analyze the impact of using fly ash on the mechanical properties of geopolymer mortar. The geopolymer mortar mixtures utilized fly ash as a cement substitute and sand as fine aggregate at ratios of 1:2 and 1:2.75; 50 x 50 mm samples underwent a 28-day curing process prior to compressive strength testing. The results indicate that the compressive strength of the MG 1:2 sample was 14.8 MPa, which is higher than that of the MG 1:2.75 sample (13.84 MPa). Meanwhile, the MP 1:2 sample achieved a compressive strength of 41.78 MPa, exceeding the 22.8 MPa recorded for the MP 1:2.75 sample. The findings

demonstrate that using fly ash yields more optimal compressive strength values at a 1:2 mixture proportion compared to 1:2.75. Increasing the fly ash content resulted in higher density and reduced water absorption in the geopolymer mortar. Consequently, all samples met the specifications set by SNI 03-6882-2002 and fell into the Type S mortar category.

Keywords: Aggregate Variation, Fly Ash, Geopolymer Mortar, Compressive Strength, Density, Water Absorption, Durability.

1. PENDAHULUAN

Semen menjadi komponen utama pembuatan mortar, namun semen memiliki dampak lingkungan yang cukup besar karena proses produksinya menghasilkan emisi karbon dioksida (CO_2) dalam jumlah yang signifikan. Setiap ton semen yang diproduksi diperkirakan melepaskan sekitar satu ton CO_2 ke atmosfer (Permata & Wardhono, 2019). Apabila produksi semen terus meningkat pada setiap tahunnya maka akan membawa dampak negatif pada lingkungan maupun kesehatan manusia. Berdasarkan data dari Asosiasi Semen Indonesia, dilansir dari Seputar Material dan Peralatan Konstruksi (SIMPK) Dinas Pekerjaan Umum pada tahun 2022 jumlah produksi semen mencapai angka 113.301.480 ton/tahun.

Mortar merupakan material konstruksi yang dibuat melalui pencampuran semen, air, dan agregat halus hingga membentuk adukan yang homogen. Menurut SNI 03-6882-2002, mortar diklasifikasikan menjadi empat kategori yaitu Tipe M, S, N, dan O berdasarkan kuat tekan dan penggunaannya. Persyaratan utama meliputi kuat tekan minimum umur 28 hari sebesar 17,2 MPa (Tipe M), 12,4 MPa (Tipe S), 5,2 MPa (Tipe N), dan 2,5 MPa (Tipe O). Tipe M digunakan untuk konstruksi dengan beban berat, Tipe S untuk pasangan struktural, Tipe N untuk pasangan dinding umum, dan Tipe O untuk pekerjaan non-struktural atau perbaikan ringan. Hampir seluruh proyek konstruksi bangunan memerlukan mortar sebagai perekat material konstruksi, pada mortar salah satu material terpentingnya ialah semen portland akan tetapi dalam proses produksi semen portland berkontribusi secara signifikan terhadap pelepasan karbon dioksida (CO_2) ke atmosfer, dengan estimasi pelepasan setiap satu ton semen portland yang diproduksi diperkirakan menghasilkan emisi sekitar satu ton CO_2 , serta dalam pemakaian semen secara berkelanjutan berpotensi menimbulkan berbagai dampak negatif bagi lingkungan (Musyafa et al., 2023). Oleh karena itu dalam menekan pencemaran akibat produksi semen maka dapat mencari bahan pengganti semen untuk proyek konstruksi.

Upaya untuk mencari pengganti bahan semen salah satunya yaitu mortar *geopolimer*. Mortar geopolimer tidak memiliki kandungan semen menjadi bahan pengikat namun menggunakan abu terbang (*fly ash*) yang mengandung senyawa aluminium (Al) dan Silikon (Si) senyawa-senyawa tersebut dapat mempengaruhi karakteristik mortar *geopolymer*

(Karyawan Salain dkk., 2021). Fly ash adalah material residu yang dihasilkan dari proses pembakaran batu bara. Berdasarkan Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, fly ash tidak lagi dikategorikan sebagai limbah bahan berbahaya dan beracun (B3). (Khotimah Handayani dkk., 2023) . Menurut SNI 03-6864-2002, abu terbang *fly ash* adalah material pozzolan berukuran halus yang dihasilkan sebagai residu pembakaran batu bara pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU). Komposisi kimia utamanya terdiri atas alumina (Al_2O_3), silika (SiO_2), dan besi oksida (Fe_2O_3), yang berperan penting dalam sifat pozzolaniknya. Jumlah produksi fly ash di Indonesia diperkirakan bahwa pada tahun 2021 jumlahnya mencapai sekitar 12 juta ton. Lalu pada tahun 2027 jumlah abu terbang di Indonesia diperkirakan mencapai 16.2 juta ton (Abinawa & Gobel, 2024). Peningkatan produksi *fly ash* mendorong pemanfaatannya sebagai bahan substitusi sebagian semen yang memiliki potensi besar dalam pengembangan material konstruksi berkelanjutan. Pemanfaatan *fly ash* sebagai substitusi semen Portland mampu menurunkan emisi karbon dioksida (CO_2) hingga lima kali lebih rendah dibandingkan penggunaan semen Portland secara konvensional.

Penelitian mengenai penggunaan *fly ash* dalam mortar sebelumnya telah dilakukan oleh (Nurhuda dkk., 2022) dalam jurnal berjudul “*Daya Tahan Mortar Geopolimer dan Mortar Semen Portland Pozzolan (PPC) Terhadap Larutan Asam Sulfat.*” Studi tersebut memanfaatkan fly ash sebagai pengganti semen untuk menguji daya tahan (durability) mortar PPC dan mortar geopolimer terhadap kondisi korosif. Komposisi mortar geopolimer dalam penelitian ini terdiri dari fly ash yang sebagian (25%) digantikan oleh tanah putih, serta larutan aktivator berupa NaOH 8M dan sodium silikat (Na_2SiO_3). Sebagai upaya untuk mensimulasikan kondisi lingkungan yang bersifat korosif, benda uji mortar dilakukan proses perendaman dalam larutan asam sulfat (H_2SO_4) dengan nilai pH sebesar 4. Pengujian terhadap benda uji dilaksanakan pada variasi durasi perendaman selama 14, 28, 56, dan 100 hari. Tingkat ketahanan mortar dalam lingkungan asam dianalisis berdasarkan karakteristik mekanis dan fisik melalui beberapa pengujian, seperti densitas, perubahan massa, kuat tekan, kuat tarik langsung, porositas, serta pengamatan kondisi fisik benda uji. Hasilnya menunjukkan bahwa mortar PPC relatif stabil meskipun direndam dalam larutan asam. Namun, pada mortar geopolimer yang mengandung 25% tanah putih, terlihat penurunan performa setelah terpapar larutan asam tersebut.

Penelitian mengenai pemanfaatan fly ash dalam mortar juga dilakukan oleh (Priastiwi dkk., 2023) dalam jurnal berjudul “*Studi Perbandingan Sifat Mekanik Mortar PPC*

dan Mortar Geopolimer dengan Aktivator NaOH pada Rendaman Air Laut.” Tujuan penelitian ini adalah untuk melakukan perbandingan terhadap karakteristik mekanik antara mortar berbasis semen PPC dan mortar geopolimer, baik yang mengandung maupun tanpa campuran tanah putih, dalam kondisi perendaman air laut. Sampel yang digunakan berupa kubus berukuran 5×5×5 cm yang dibuat menggunakan campuran abu terbang, tanah putih, air, pasir, aktivator alkali berupa larutan NaOH 8M, serta semen Portland Composite Cement (PPC). Penelitian ini menggunakan tiga variasi campuran mortar, yaitu mortar berbasis semen PPC, mortar geopolimer tanpa penambahan tanah putih (TTP), serta mortar geopolimer dengan substitusi tanah putih sebesar 15% terhadap sebagian abu terbang (TP15%). Pengujian untuk ketiga jenis mortar tersebut mencakup kuat tekan, porositas, kuat tarik, massa jenis, dan penyerapan air. Selain itu, analisis mikrostruktur dilakukan khusus pada sampel TP15% setelah perendaman. Berdasarkan hasil penelitian, Mortar PPC memperlihatkan ketahanan mekanis yang lebih baik dibandingkan dengan kedua jenis mortar geopolimer yang diuji. Setelah menjalani perendaman selama 28 hari, mortar PPC menghasilkan kuat tekan sebesar 32,427 MPa dan kuat tarik sebesar 2,318 MPa. Sementara itu, mortar geopolimer hanya mampu mencapai nilai kuat tekan maksimum sebesar 14,373 MPa dan kuat tarik maksimum sebesar 0,993 MPa. Di antara variasi geopolimer, mortar tanpa tanah putih (TTP) menunjukkan performa yang lebih baik dibandingkan TP15%. Uji mikrostruktur juga mengungkap bahwa perendaman menghasilkan matriks mortar yang lebih rapat dan padat.

Penelitian-penelitian sebelumnya telah melakukan berbagai upaya untuk meningkatkan kualitas mortar geopolimer. Namun, hanya sedikit yang membahas mengenai variasi rasio agregat halus terhadap *fly ash* sebagai cara untuk meningkatkan tingkat kualitas campuran pada mortar geopolimer dibandingkan dengan mortar PCC. Berdasarkan hal tersebut, maka perlu dilakukan kajian lanjutan terkait agregat halus terhadap *fly ash* dalam pengujian tekan kuat serta penyerapan air mortar geopolimer.

Merujuk pada latar belakang yang telah dijelaskan, penelitian ini berfokus pada penggunaan *fly ash* dalam pembuatan mortar geopolimer sebagai substitusi semen Portland. Dalam proses pembuatannya, *fly ash* dicampurkan dengan aktivator alkali berupa Na_2SiO_3 (natrium silikat) dan NaOH (natrium hidroksida), selanjutnya karakteristik kuat tekan mortar dievaluasi pada umur 28 hari. Penelitian ini diharapkan bisa menjadi referensi bagi masyarakat maupun kalangan akademik yang ingin merancang mortar geopolimer berbasis *fly ash* sebagai material penyusun utama. Di samping itu, hasil penelitian ini dapat dimanfaatkan

sebagai dasar acuan dalam pengembangan studi lanjutan di bidang material konstruksi alternatif.

Pada penelitian ini, digunakan variasi rasio antara agregat halus dan fly ash, yaitu 1:2 dan 1:2,75, dengan proses pembentukan geopolimer yang melibatkan penggunaan aktivator alkali berupa natrium silikat (Na_2SiO_3) dan natrium hidroksida (NaOH). Molaritas NaOH atau natrium hidroksida yang ditetapkan sebesar 8M. Penelitian menganalisis kuat tekan, densitas, durabilitas dan penyerapan air pada mortar geopolimer. Penggunaan *fly ash* ditentukan berdasarkan rencana yang sudah dibuat. Perencanaan campuran mortar geopolimer dalam penelitian ini melalui metode eksperimental sedangkan pengujian terhadap benda uji mengacu pada SNI 03-2834-2000. Hasil penelitian ini diharapkan dapat mendukung pengembangan mortar geopolimer sebagai material konstruksi alternatif yang memiliki kekuatan tinggi, ketahanan lingkungan yang baik, dan durabilitas yang memadai untuk diaplikasikan secara luas.

2. METODE

Penelitian ini menerapkan metode eksperimen laboratorium untuk mengevaluasi karakteristik mortar geopolimer berdasarkan hasil pengujian kuat tekan, densitas, dan daya serap air. Benda uji yang digunakan berupa sampel berbentuk kubus dengan dimensi 50 mm × 50 mm. Seluruh tahapan penelitian dilaksanakan di Laboratorium Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Penelitian ini dilaksanakan melalui beberapa tahapan, yaitu studi literatur, pengujian material penyusun, perancangan komposisi campuran (*mix design*), pembuatan benda uji, pengujian karakteristik mortar, serta analisis terhadap hasil penelitian. Material penyusun yang digunakan meliputi agregat halus, fly ash sebagai bahan utama yang diperoleh dari PT Solusi Bangun Beton, semen PCC produksi PT Semen Gresik, dan aktivator alkali berupa campuran natrium silikat (Na_2SiO_3) serta natrium hidroksida (NaOH) berkonsentrasi 8 M. Sebelum digunakan dalam pembuatan mortar, seluruh material terlebih dahulu diuji untuk memastikan bahwa karakteristiknya memenuhi persyaratan sebagai bahan penyusun campuran mortar geopolimer.

Tahap berikutnya meliputi perancangan campuran mortar geopolimer, pembuatan benda uji, serta proses perawatan (*curing*). Perancangan campuran dilakukan berdasarkan hasil pengujian material dengan sesuai dengan ketentuan dalam SNI 03-2834-2000. Setelah proporsi masing-masing bahan ditentukan, campuran mortar geopolimer dibuat sesuai dengan komposisi yang telah direncanakan. Benda uji dicetak dalam bentuk kubus berukuran 50 mm × 50 mm untuk pengujian densitas, durabilitas, kuat tekan dan daya serap. Benda uji yang telah

dicetak kemudian didiamkan selama 24 jam di dalam cetakan sebelum dilakukan pelepasan cetakan. Tahap perawatan berikutnya dilakukan dengan metode berbeda, yaitu perendaman dalam air untuk mortar PCC dan curing menggunakan oven selama 24 jam untuk mortar geopolimer.

Tabel 1. Jumlah sampel penelitian

Kode Sampel	Umur, hari	Kuat Tekan	Densitas	Penyerapan	Durabilitas
MG 1 : 2	28	5	5	5	5
MG 1 : 2,75	28	5	5	5	5
MP 1 : 2	28	5	5	5	5
MP 1 : 2,75	28	5	5	5	5
Σ		20	20	20	20

Tabel 2. Hasil Perencanaan Campuran Mortar (kg/m^3)

Benda Uji	Semen	Fly Ash	Pasir	Air	Aquadest	NaOH	Na_2SiO_3
MG 1 : 2	-	613,789	1227,763	-	205	65,60	32,80
MG 1 : 2,75	-	491,142	1350,41	-	205	65,60	32,80
MP 1 : 2	613,789		1227,763	205	-	-	-
MP 1 : 2,75	491,142		1350,41	205	-	-	-

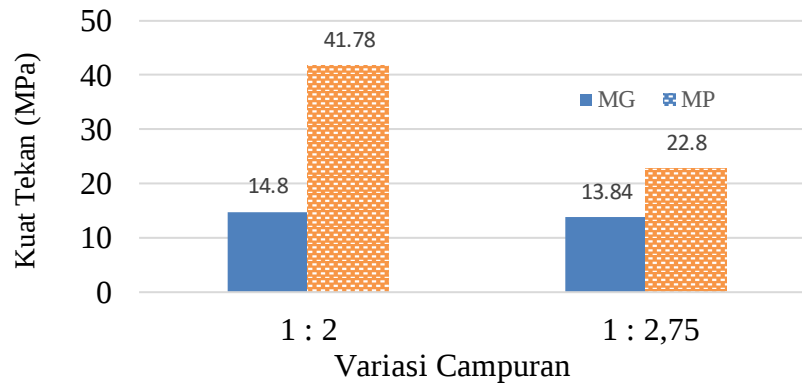
Setelah benda uji mencapai umur pengujian 28 hari, benda uji selanjutnya dilakukan pengujian densitas, durabilitas, kuat tekan dan penyerapan. Pengujian densitas mengacu pada standar SNI 1973 : 2016, pengujian penyerapan berdasarkan standar ASTM C642-06. Benda uji berbentuk kubus selanjutnya diuji kuat tekannya menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM) guna memperoleh kapasitas beban maksimum yang dapat diterima oleh mortar. Pelaksanaan pengujian ini dilakukan sesuai dengan prosedur dan persyaratan yang tercantum dalam SNI 1974-2011.

Selanjutnya, data hasil penelitian dianalisis dan dibahas melalui penyajian dalam bentuk tabel dan grafik, kemudian dilakukan perbandingan antarhasil pengujian untuk mengidentifikasi perbedaan maupun kecenderungan yang muncul. Berdasarkan hasil analisis tersebut, selanjutnya disusun kesimpulan yang menggambarkan temuan utama dari penelitian ini.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian Kuat Tekan

Kuat tekan pada mortar geopolimer didefinisikan sebagai kemampuan material untuk menahan tekanan eksternal hingga mencapai batas keruntuhan tertentu. Pengujian parameter tersebut dilakukan menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM) untuk menentukan kapasitas beban tekan maksimum yang dapat ditahan oleh sampel mortar.



Gambar 1. Hasil Uji Kuat Tekan

Gambar 1 memperlihatkan hasil pengujian kuat tekan mortar geopolimer pada benda uji MG 1:2, memperoleh nilai kuat tekan yang diperoleh mencapai 14,8 MPa setelah mencapai umur perawatan 28 hari. Sedangkan sampel MG 1:2,75 mencapai kekuatan tekan 13,84 Mpa. Pada sampel mortar MG 1:2,75 terjadi penurunan kuat tekan sebesar 16,5%, hal ini disebabkan perbandingan *fly ash* dan pasir yang berbeda, dikarenakan perbedaan perbandingan *fly ash* dan pasir dapat menurunkan daya ikat atau lekatan pada mortar. Hasil pengujian menunjukkan bahwa benda uji MP 1:2 mencapai kuat tekan sebesar 41,78 MPa pada umur curing 28 hari, sedangkan benda uji MP 1:2,75 memperoleh nilai kuat tekan sebesar 22,8 MPa pada umur perawatan yang sama.

Tabel 3. Presentase Kenaikan Kuat Tekan

Perbandingan Benda Uji	Persentase Kenaikan
MG 1:2 dengan MG 1:2,75	-16,5%
MG 1:2 dengan MP 1:2	65,58%
MG 1:2,75 dengan MP 1:2,75	39,30%
MP 1:2 dengan MP 1:2,75	-45,42%

Hasil pengujian kuat tekan mortar geopolimer pada perbandingan campuran 1:2,75 mengalami penurunan sebesar 16,5% dibandingkan dengan mortar geopolimer perbandingan 1:2. Penurunan yang lebih besar terjadi pada mortar PCC, yaitu sebesar 65,58%, ketika perbandingan campuran diubah dari 1:2 menjadi 1:2,75. Apabila dibandingkan pada perbandingan campuran yang sama yaitu 1:2,75, hasil pengujian menunjukkan bahwa kuat tekan mortar geopolimer berada 39,30% di bawah nilai kuat tekan mortar PCC. Sementara itu, pada perbandingan campuran 1:2, kuat tekan mortar geopolimer juga lebih rendah, yaitu sebesar 45,42%, dibandingkan dengan mortar PCC.

Secara umum, peningkatan proporsi agregat halus pada campuran 1:2,75 cenderung menurunkan nilai kuat tekan mortar. Sebaliknya, Hasil pengujian menunjukkan bahwa

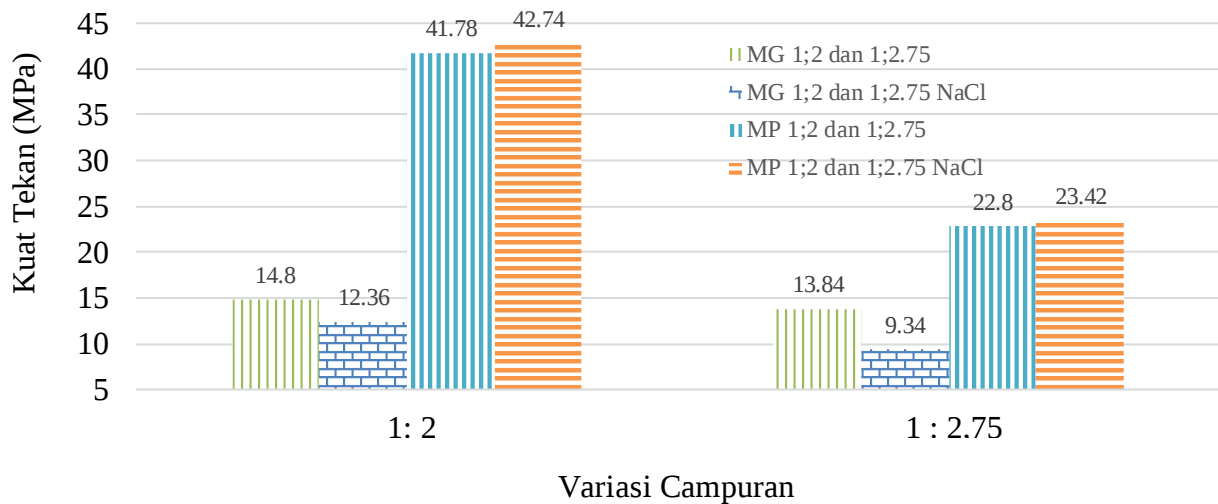
campuran dengan proporsi 1:2 memiliki nilai kuat tekan tertinggi. Oleh karena itu, pemilihan komposisi campuran perlu disesuaikan dengan kebutuhan aplikasi konstruksi serta mempertimbangkan karakteristik yang diinginkan, seperti kuat tekan, kemudahan pengerjaan (*workability*), dan sifat mekanis lainnya yang relevan.

Menurut hasil penelitian yang dilakukan oleh (Sultan dkk., 2022), meneliti tentang penentuan karakterisasi mortar geopolimer menggunakan pasir batu apung dan *fly ash*, kuat tekan mortar geopolimer dengan molaritas 8 serta melakukan curing pada suhu 100° mendapatkan kuat tekan sekitar 16 Mpa. Mengacu pada hasil penelitian yang dilakukan oleh (Saidi & Hasan, 2022), mengenai penggunaan *diatomaceous earth* (DE) sebagai pengganti sebagian semen serta dampaknya terhadap kuat tekan dan daya serap air (*water absorption*). Berdasarkan hasil penelitian tersebut, mortar PCC dengan komposisi campuran 1:2 pada usia pengujian 28 hari menunjukkan nilai kuat tekan mencapai 39 MPa.

Pada Penelitian ini MP1:2 dengan kuat tekan 41 MPa Kuat tekan mortar geopolimer pada variasi MG 1 : 2 sebesar 14,8 MPa jauh lebih rendah dibandingkan mortar PCC variasi MP 1 : 2 yang mencapai 41,78 MPa atau hampir tiga kali lebih tinggi. Perbedaan ini diduga disebabkan oleh belum optimalnya proses geopolimerisasi pada penggunaan aktivator NaOH 8 M. Konsentrasi alkali yang relatif rendah menyebabkan pelarutan silika dan alumina dari fly ash tidak berlangsung sempurna sehingga pembentukan gel N-A-S-H menjadi terbatas. Akibatnya, mikrostruktur mortar masih berpori dan menghasilkan kuat tekan yang rendah. Sebaliknya, mortar PCC memperoleh kekuatan dari proses hidrasi semen yang membentuk gel C-S-H secara lebih stabil sehingga menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi. Mengacu pada ketentuan SNI 03-6882-2002 mengenai Spesifikasi Mortar untuk pekerjaan pasangan, mortar tipe S memiliki persyaratan kuat tekan minimum sebesar 12,5 MPa. Berdasarkan hasil penelitian ini, hanya benda uji MG 1:2 dan MG 1:2,75 yang memenuhi kriteria tersebut sehingga dapat dikategorikan sebagai mortar tipe S. Oleh karena itu, kedua variasi mortar tersebut berpotensi digunakan sebagai alternatif mortar untuk dinding pemikul beban, dinding bukan pemikul beban, pasangan sandaran dinding, serta partisi nonstruktural.

3.2 Pengujian Durabilitas

Pengujian kuat tekan mortar geopolimer dilakukan pada sampel kubus berukuran 5 cm × 5 cm × 5 cm dengan bantuan *Universal Testing Machine* (UTM) yang tersedia di Laboratorium Universitas Muhammadiyah Surakarta. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menganalisis ketahanan mortar ketika mengalami perendaman larutan NaCl.



Gambar 2 Grafik Nilai Rata - Rata Kuat Tekan setelah Perendaman NaCl

Berdasarkan Gambar 2, hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai kuat tekan mortar geopolimer yang diperoleh masih berada di bawah kuat tekan rencana sebesar 25 MPa. Nilai kuat tekan maksimum tercatat pada benda uji MG 1:2 dengan nilai sebesar 14,8 MPa, sedangkan nilai kuat tekan terendah diperoleh pada benda uji MG 1:2,75 NaCl, yaitu sebesar 9,34 MPa. Dibandingkan dengan variasi MG 1:2, penambahan proporsi agregat halus pada campuran MG 1:2,75 menyebabkan penurunan kuat tekan sebesar 16,5%. Selain itu, penggunaan larutan NaCl pada campuran MG 1:2,75 juga mengakibatkan penurunan kuat tekan sebesar 32,5%.

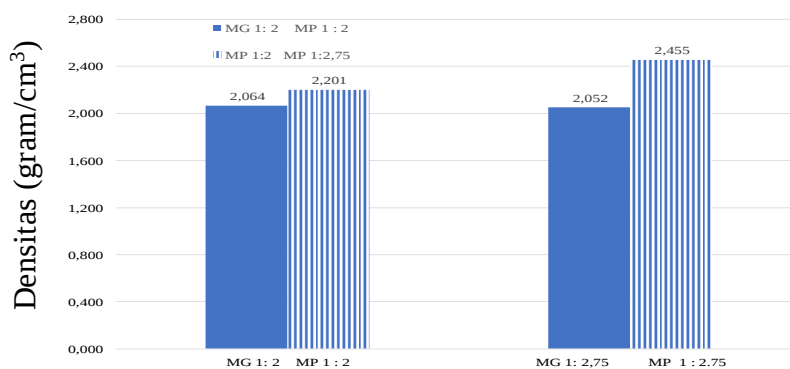
Sementara itu, pada mortar PCC, hasil pengujian menunjukkan bahwa benda uji MP 1:2 NaCl menghasilkan nilai kuat tekan tertinggi, yaitu sebesar 42,74 MPa. Sebaliknya, kuat tekan terendah ditemukan pada benda uji MP 1:2,75 dengan nilai sebesar 22,8 MPa. Pada sampel mortar MP 1 : 2 NaCl terjadi kenaikan kuat tekan sebesar 2,25%, serta pada sampel MP 1 : 2,75 terjadi kenaikan kuat tekan sebesar 2,65%. Hal ini disebabkan perbandingan *fly ash* dan pasir yang berbeda. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa proses perendaman menggunakan air laut memberikan pengaruh korosif terhadap tingkat kerapatan mortar geopolimer. Pada mortar geopolimer, penetrasi ion Na^+ dan Cl^- dapat menyebabkan perubahan mikrostruktur dan pelindian ion alkali dari matriks gel aluminosilikat sehingga kuat tekan cenderung menurun. Penelitian ini dilakukan oleh (Zhuang dkk., 2017) yang menemukan penurunan kuat tekan mortar geopolimer selama perendaman NaCl. Sebaliknya terjadi kenaikan kuat tekan sekitar 2,30% pada mortar pcc setelah perendaman air laut karena air laut mengandung konsentrasi ion klorida yang sangat tinggi. Ion klorida ini bertindak sebagai akselerator alami dalam proses hidrasi semen. Keberadaan klorida mempercepat reaksi antara air dan senyawa semen (khususnya Trikalسيوم Silikat), sehingga pembentukan gel C-S-H (*Calcium Silicate*

Hydrate) yang berperan terhadap peningkatan kekuatan semen terjadi secara lebih cepat pada awal proses perendaman.

Pada Penelitian yang dilakukan oleh (Zhuang dkk., 2017) yang meneliti tentang ketahanan mortar geopolimer terhadap serangan asam dan klorida. Pada penelitian tersebut menunjukkan variasi kekuatan tekan spesimen di udara, air keran, natrium klorida, dan larutan asam sulfat seiring waktu. Terlihat bahwa kekuatan tekan mortar geopolimer di udara meningkat sebesar 2,1% ~ 11% dibandingkan dengan sebelum perendaman. Peningkatan kekuatan tekan yang tidak signifikan menunjukkan bahwa kekuatan tekan mortar geopolimer hampir stabil sebelum direndam dalam larutan. Dibandingkan dengan kekuatan tekan spesimen mortar geopolimer di udara, kekuatan tekan spesimen dalam larutan lebih rendah, terutama pada 30 hari pertama. Penurunan maksimum kekuatan tekan spesimen dalam air keran, natrium klorida, dan larutan asam sulfat masing-masing adalah 15,5%, 13,7%, dan 10,9%. Selama seluruh durasi perendaman, terjadi fluktuasi kekuatan tekan spesimen yang direndam dalam air keran, larutan natrium klorida, dan asam sulfat. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa perendaman menggunakan larutan natrium klorida menyebabkan penurunan kuat tekan pada campuran mortar geopolimer. Dengan demikian, hasil kuat tekan yang diperoleh dalam penelitian ini menunjukkan kesesuaian dengan temuan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Zhuang et al., 2017) .

3.3 Densitas

Pengujian densitas mortar geopolimer dilakukan dengan sampel uji berbentuk kubus dengan dimensi panjang 5 cm, lebar 5 cm, dan tinggi 5 cm. Pengujian dilakukan menggunakan alat timbangan dan gelas ukur di Laboratorium Universitas Muhammadiyah Surakarta. Prosesnya dilakukan dengan menimbang massa mortar terlebih dahulu, kemudian membaginya dengan volume benda uji.



Variasi Campuran

Gambar 3. Hasil Pengujian Densitas

Berdasarkan Gambar 3 hasil pengujian densitas menunjukkan bahwa benda uji mortar geopolimer memiliki nilai densitas yang lebih rendah dibandingkan dengan mortar PCC. Semen secara umum memiliki densitas lebih tinggi dalam campuran mortar dibandingkan dengan *fly ash*.

Tabel 5. Presentase Kenaikan Pengujian Densitas

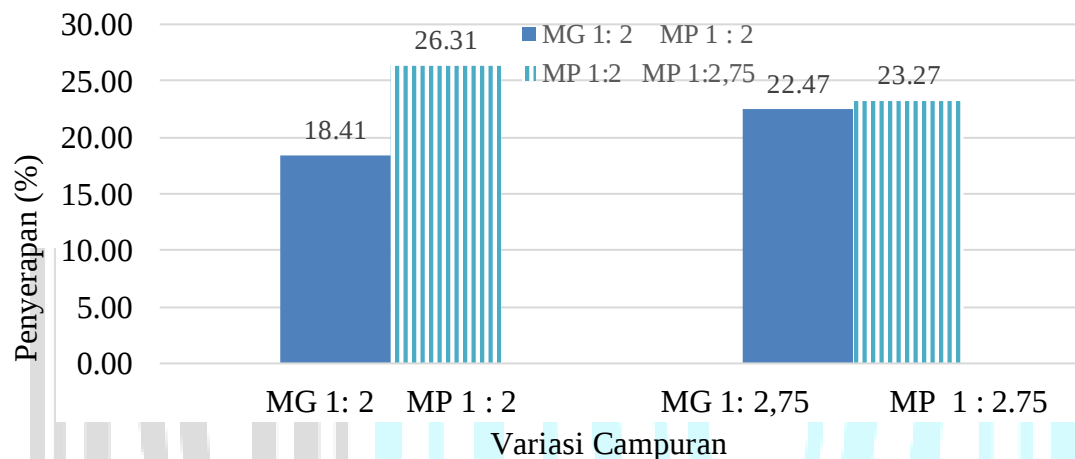
Perbandingan Benda Uji	Persentase Kenaikan
MG 1:2 dengan MG 1:2,75	0,59%
MG 1:2 dengan MP 1:2	6,21%
MG 1:2,75 dengan MP 1:2,75	16,41%
MP 1:2 dengan MP 1:2,75	10,35%

Pada data Tabel 5, Gambar 3 didapatkan hasil bahwa hasil pengujian densitas menunjukkan bahwa variasi MP 1:2 menghasilkan nilai densitas rata-rata tertinggi sebesar 2,455 gram/cm³, sedangkan nilai densitas rata-rata terendah diperoleh pada variasi MG 1:2,75 dengan nilai sebesar 2,052 gram/cm³. Pada sampel mortar MG 1 : 2 dengan MP 1 : 2 terjadi kenaikan nilai densitas sebesar 6,21%, dan pada sampel mortar MG 1 : 2,75 dengan MP 1 : 2,75 terjadi kenaikan sebesar 16,41%. Densitas mortar PCC lebih tinggi dibandingkan mortar geopolimer karena produk hidrasi semen berupa gel C-S-H mampu mengisi rongga antarpartikel secara lebih optimal sehingga menghasilkan mikrostruktur yang lebih rapat. Sebaliknya, pada mortar geopolimer berbasis *fly ash* Class F, terutama yang menggunakan aktivator NaOH berkonsentrasi rendah dan curing suhu ruang, proses geopolimerisasi berlangsung lebih lambat sehingga proses terbentuknya gel N-A-S-H belum optimal. Kondisi tersebut menyebabkan masih terdapat pori dan partikel *fly ash* yang tidak bereaksi, sehingga densitas mortar geopolimer menjadi lebih rendah dibandingkan mortar PCC. Penurunan densitas ini juga dipengaruhi oleh nilai berat jenis *fly ash* umumnya berada di bawah nilai berat jenis semen portland.

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Aji Kusumawardhana & Wardhono, 2022), meneliti hubungan berat volume dengan kuat tekan mortar geopolimer. Pada kuat tekan 19,84 mendapatkan nilai densitas 2.10 gr/cm³, kuat tekan 18,95 mendapatkan nilai densitas 2.10 gr/cm³, kuat tekan 18,87 mendapatkan nilai densitas 2.08 gr/cm³, kuat tekan 17,90 mendapatkan nilai densitas 2.07 gr/cm³, kuat tekan 17,82 mendapatkan nilai densitas 2.05 gr/cm³. Dengan demikian nilai kuat tekan pada penelitian sesuai dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Aji Kusumawardhana & Wardhono, 2022). Hasil tersebut menunjukkan adanya keterkaitan antara densitas dan kuat tekan mortar, dimana peningkatan densitas dapat berkontribusi terhadap peningkatan kemampuan mortar menahan beban tekan.

3.4 Uji Penyerapan Air

Setelah benda uji mortar geopolimer menjalani proses perawatan selama 28 hari, dilakukan pengujian penyerapan terhadap sampel dengan variasi campuran mortar geopolimer dan mortar PCC. Pengujian ini bertujuan untuk menganalisis kemampuan penyerapan air pada setiap variasi campuran yang digunakan dalam penelitian.



Gambar 4. Hasil Pengujian Penyerapan Air Mortar

Berdasarkan gambar 4, didapatkan hasil pengujian rata rata penyerapan pada sampel MG 1:2 sebesar 18,41%, sampel MP 1:2 sebesar 26,31%, sampel MG 1:2,75 sebesar 22,47%, sampel MP 1:2,75 sebesar 23,27%. Berdasarkan data hasil penelitian, benda uji MP 1:2 memiliki karakteristik penyerapan air dengan nilai rata-rata tertinggi. Sebaliknya, benda uji MG 1:2 menunjukkan nilai rata-rata penyerapan air paling rendah di antara seluruh variasi yang diuji.

Menurut hasil penelitian yang dilakukan oleh (Simanjuntak & Wardhono, 2022) pada penelitian ini meneliti tentang kuat tekan dan porositas mortar geopolimer 28 hari dengan perlakuan suhu oven. Pada kuat tekan sebesar 3,13 Mpa mendapatkan nilai porositas sebesar 13,28%, kuat tekan 3,33 Mpa mendapatkan nilai porositas sebesar 12,53%, kuat tekan 3,47 Mpa mendapatkan nilai porositas sebesar 12,22%, kuat tekan 3,53 Mpa mendapatkan nilai porositas sebesar 11,30%, kuat tekan 3,53 Mpa mendapatkan nilai porositas sebesar 11,30%, kuat tekan 3,80 Mpa mendapatkan nilai porositas sebesar 10,63%, kuat tekan 3,60 Mpa mendapatkan nilai porositas sebesar 11,80%. Berdasarkan data hasil pengujian, nilai kuat tekan yang dihasilkan pada penelitian ini memiliki kesesuaian dengan hasil penelitian sebelumnya oleh (Simanjuntak & Wardhono, 2022). Semakin kecil nilai porositas pada mortar, maka kemampuan material dalam menyerap air juga semakin rendah. Hal tersebut menunjukkan bahwa mortar dengan struktur pori atau penyerapan air yang lebih sedikit cenderung memiliki kualitas serta performa yang lebih baik.

Tabel 6. Presentase Kenaikan Pengujian Penyerapan

Perbandingan Benda Uji	Persentase Kenaikan
MG 1:2 dengan MG 1:2,75	18,09%
MG 1:2 dengan MP 1:2	30,04%
MG 1:2,75 dengan MP 1:2,75	3,40%
MP 1:2 dengan MP 1:2,75	-13,10%

Pada data tabel 6 didapatkan hasil bahwa nilai porositas rata-rata terendah dihasilkan oleh MG 1:2 dengan nilai porositas sebesar 18,41. Sedangkan nilai porositas rata-rata tertinggi dihasilkan oleh MG 1 : 2,75 dengan nilai porositas sebesar 22,47%. Pada sampel mortar MG 1 : 2 terjadi penurunan nilai densitas sebesar 18,1%, hal ini disebabkan perbandingan *fly ash* dan pasir yang berbeda.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Simanjuntak & Wardhono, 2022) mengkaji karakteristik kuat tekan dan porositas mortar geopolimer pada umur 28 hari dengan perlakuan perawatan menggunakan suhu oven. Hasil penelitian menunjukkan bahwa mortar dengan nilai kuat tekan sebesar 3,13 MPa memiliki persentase porositas sebesar 13,28%, sedangkan mortar dengan kuat tekan 3,33 MPa menghasilkan nilai porositas sebesar 12,53%, kuat tekan 3,47 Mpa mendapatkan nilai porositas sebesar 12,22%, kuat tekan 3,53 mendapatkan nilai porositas sebesar 11,30, kuat tekan 3,80 Mpa mendapatkan nilai porositas sebesar 10,63%, kuat tekan 3,60 Mpa mendapatkan nilai porositas sebesar 11,80%. Dengan demikian, hasil pengujian kuat tekan pada penelitian ini menunjukkan kesesuaian dengan hasil penelitian terdahulu yang dilakukan oleh (Simanjuntak & Wardhono, 2022). Semakin kecil persentase porositas pada mortar, sehingga jumlah air yang dapat masuk dan terserap ke dalam material menjadi lebih sedikit. Hal tersebut menunjukkan bahwa mortar dengan pori yang lebih sedikit memiliki kualitas yang lebih baik.

4. PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Terjadi perbedaan kuat tekan yang jauh berbeda, dan cukup relatif besar antara mortar geopolimer dengan mortar konvensional. Pada perbandingan variasi agregat halus 1:2 kuat tekan mortar konvensional terjadi kenaikan 65,58% dan pada variasi 1:2,75 terjadi kenaikan kuat tekan sebesar 39,30% dibandingkan mortar geopolimer. Dengan adanya penambahan agregat halus dapat mengurangi kuat tekan, serta dapat mengurangi densitas(kepadatan), dan terjadi kenaikan penyerapan pada mortar geopolimer.

Perendaman NaCl bersifat korosif terhadap mortar geopolimer. Pada mortar geopolimer, penetrasi ion Na^+ dan Cl^- dapat menyebabkan perubahan mikrostruktur dan pelindian ion alkali dari matriks gel aluminosilikat sehingga kuat tekan cenderung menurun.

Densitas mortar PCC lebih tinggi 6,21% hingga 16,41% dibandingkan mortar geopolimer

karena produk hidrasi semen berupa gel C-S-H dapat mengisi ruang kosong di antara partikel secara lebih optimal sehingga membentuk mikrostruktur yang lebih padat.

Penambahan agregat halus pada mortar geopolimer dapat meningkatkan penyerapan air sebesar 18,09%. Mortar geopolimer dengan tingkat penyerapan air rendah memiliki kualitas yang lebih optimal.

4.2 Saran

Proses perawatan benda uji perlu dilakukan secara optimal untuk menjaga kondisi sampel agar tidak mengalami kerusakan sebelum tahap pengujian. Selain itu, proses pencampuran (*mixing*) mortar geopolimer dan mortar PCC harus dilakukan secara homogen agar distribusi material dalam campuran menjadi merata. Peningkatan kuat tekan mortar geopolimer dapat dikaji lebih lanjut melalui penambahan konsentrasi molaritas aktivator alkali serta pengamatan dengan durasi perawatan yang lebih panjang dari 28 hari. Selain itu, penelitian lanjutan perlu dilakukan dengan menggunakan variasi komposisi agregat halus yang berbeda untuk memperoleh campuran dengan karakteristik dan performa yang paling optimal. Sebaiknya untuk penelitian selanjutnya, supaya hasil lebih optimal maka larutan alkali aktivator (campuran NaOH dan Na_2SiO_3) didiamkan selama 24 jam sebelum proses *mixing* pada pembuatan mortar geopolimer.

PERSANTUNAN

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta atas dukungan dan bantuan yang telah diberikan selama pelaksanaan penelitian, mulai dari tahap persiapan hingga seluruh rangkaian penelitian selesai.

DAFTAR PUSTAKA

- Aji Kusumawardhana, D., & Wardhono, A. (2022). *Pengaruh Penggunaan Lumpur Sidoarjo Sebagai Substitusi Fly Ash Pada Mortar Geopolimer Dengan Naoh 12 Molar Dan Kondisi Ss/Sh 2 Ditinjau Dari Kuat Tekan Dan Porositas*.
- Abinawa, C., & Gobel, A. P. (2024). Studi Pengolahan Limbah Fly Ash Batubara dalam Upaya Peningkatan Konsentrasi Silika Menggunakan Asam Sitrat. *INSOLOGI: Jurnal Sains Dan Teknologi*, 3(3), 288–296. <https://doi.org/10.55123/insologi.v3i3.3519>
- 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>
- Khotimah Handayani, N., Nugroho Aldini Trisnawan, dan, Yani Tromol Pos, J. A., & Pos, K. (2023). *Pemanfaatan Steel Slag Sebagai Substitusi Agregat Kasar Pada Pembuatan Beton Hvf-a-Scc Tahan Serangan Sulfat*. <https://journals.ums.ac.id/index.php/DTS/index>
- Musyafa, A. F., Rochman, T., & Rahman, A. (2023). Mortar Geopolimer Material Penyusun Mortar Baru Ramah Lingkungan. *Jurnal Online Skripsi*, 20(1), 1. <https://doi.org/10.5614/jts.2013.20.1.1>

- Nurhuda, I., Arni Priastiwi, Y., Ardidawa, V., & AlFahd Nizami, C. (2022). Daya Tahan Mortar Geopolimer dan Mortar Semen Portland Pozzolan (PPC) Terhadap Larutan Asam Sulfat. In *Media Komunikasi Teknik Sipil* (Vol. 28, Number 2).
- Permata, E. F. I., & Wardhono, A. (2019). Pengaruh Kepekatan Larutan Aktivator Terhadap Kuat Tekan Geopolymer Mortar Berbahan Dasar Abu Terbang Dan Naoh 12 Molar Pada Kondisi Ss/Sh 2.0 Dan 4.0.
- Priastiwi, Y. A., Hidayat, A., Husna, K., & Putriagsari, F. N. (2023). Studi Perbandingan Sifat Mekanik Mortar PPC dan Mortar Geopolimer dengan Aktivator NaOH pada Rendaman Air Laut. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 29(1), 40–50. <https://doi.org/10.14710/mkts.v29i1.54344>
- Saidi, T., & Hasan, M. (2022). The effect of partial replacement of cement with diatomaceous earth (DE) on the compressive strength and absorption of mortar. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, 34(4), 250–259. <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2020.10.003>
- Simanjuntak, D. M., & Wardhono, A. (2022). Analisis Kuat Tekan Dan Porositas Mortar Geopolimer Menggunakan Abu Sekam Padi Sebagai Bahan Substitusi Fly Ash Pada Molaritas 8 Molar.
- Sultan, M. A., Kusnadi, & Adingku, J. (2022). Determination Of Geopolymer Mortar Characterization Using Fly Ash And Pumice Sand. *International Journal of GEOMATE*, 23(100), 86–94. <https://doi.org/10.21660/2022.100.3630>
- Zhuang, H. J., Zhang, H. Y., & Xu, H. (2017). Resistance of geopolymer mortar to acid and chloride attacks. *Procedia Engineering*, 210, 126–131. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.11.057>