

Karakteristik Mortar Komposit Dengan Penambahan Arang Aktif

Muhammad Sadir^{1*}, Baiq Mirawati¹, I Gde Adi Suryawan Wangiyana¹, Albert Hendriko², Ade Irama¹, Zoya Saharani Hidayah¹, Yusron Hafiz¹

¹Universitas Pendidikan Mandalika Mataram, Mataram, Indonesia

²Universitas Indonesia, Depok, Indonesia

m.sadir@undikma.ac.id*

| Received: 10/04/2025 | Revised: 22/05/2025 | Accepted: 26/05/2025 |

Copyright©2025 by authors, all rights reserved. Authors agree that this article remains permanently open access under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0 International License

Abstrak

Penambahan arang aktif ke dalam matriks semen dapat meningkatkan kepadatan mortar, dan daya tahan mortar. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisa pengaruh arang aktif terhadap karakteristik mortar komposit meliputi kuat tekan, densitas dan daya serap air. Pembuatan mortar komposit dengan komposisi arang aktif terhadap berat semen (1%, 2%, 3%, 4%, dan 5%), perbandingan semen dan pasir adalah 1:3. Komposisi tersebut akan diuji dan dianalisa pengaruhnya terhadap kuat tekan, densitas dan daya serap air mortar komposit. Hasil penelitian menunjukkan penambahan arang aktif tidak berpengaruh signifikan terhadap karakteristik mortar komposit, kecuali pada densitas *setting*. Penambahan arang aktif sebesar 5% menunjukkan komposisi optimal dengan nilai kuat tekan 11,67 MPa, densitas *setting* 2092,91 kg/m³, densitas *oven dry* 1853,93 kg/m³, dan daya serap air 15,20%.

Kata kunci: Arang Aktif, Semen, Kepadatan, Mekanik, Daya Tahan.

Abstract

The addition of activated charcoal to the cement matrix can increase the density and durability of the mortar. The purpose of this study was to analyze the effect of activated charcoal on the characteristics of composite mortar including compressive strength, density, and water absorption. Making mortar composite with the composition of activated charcoal to the weight of cement (1%, 2%, 3%, 4%, and 5%), the ratio of cement and sand is 1: 3. The composition will be tested and analyzed for its effect on the compressive strength, density, and water absorption of mortar composite. The results showed that the addition of activated charcoal did not have a significant effect on the characteristics of mortar composite, except for the setting density. The addition of activated charcoal by 5% showed an optimal composition with a compressive strength value of 11.67 MPa, a setting density of 2092.91 kg / m³, an oven-dry density of 1853.93 kg / m³, and a water absorption of 15.20%.

Keywords: Activated Charcoal, Cement, Density, Mechanics, Durability.

1. Pendahuluan

Meningkatnya kesadaran lingkungan telah mengakibatkan tekanan pada industri beton untuk menurunkan emisi CO₂ dan konsumsi sumber daya terbarukan. Hal ini telah menyebabkan masalah lingkungan, terutama peningkatan suhu global yang signifikan (Farghali et al., 2022). Upaya untuk menerapkan pertumbuhan berkelanjutan, sangat penting untuk memberikan prioritas utama kepada bahan bangunan yang dapat didaur ulang dan ramah lingkungan, seperti insulasi dan batu bata berkelanjutan (Pandey et al., 2022). Solusi yang ada saat ini adalah beton ramah lingkungan yang berbahan dasar bahan alami atau bahan limbah seperti mineral. Secara umum, jenis material mortar, struktur rekayasanya, dan sifat mekanisnya ditentukan oleh faktor internal (komposisi material, struktur internal, dll.) dan faktor eksternal (lingkungan sekitar, karakteristik tegangan, dll.) (Liu et al., 2019; Heidari et al., 2018).

Beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa penambahan mineral dapat meningkatkan sifat fisik-mekanik dan stabilitas material semen (Benabed et al., 2016; Dzigita et al., 2017). Penggabungan penambahan arang aktif ke dalam matriks semen dapat meningkatkan kepadatan beton dengan cara mengisi pori-pori dan memperkecil rongga, sehingga kekuatan mekanik meningkat, memperbaiki struktur mikro matriks semen dan daya tahan beton (Lekkam et al., 2019). Bentuk arang aktif dapat memberikan kualitas yang menguntungkan bagi semen dan beton. Penggunaan arang aktif sebagai aditif pada semen bertujuan untuk penyerapan senyawa organik yang mudah menguap, sebagaimana hasil penelitian sebelumnya yang menambahkan material tersebut ke dalam komposisi semen (Krou et al., 2015), sebagai sarana pemanfaatan kembali arang aktif pada beton berpori (Youn et al., 2009), mengingat kekuatan tekan sebagai sifat mekanik yang paling sering ditentukan.

Para peneliti saat ini terus berfokus terutama pada residu industri, produk sampingan kehutanan dan biomassa pertanian sebagai produk arang (Babar et al., 2019). Selama beberapa tahun terakhir, terdapat peningkatan kecenderungan untuk memanfaatkan arang aktif hasil rekayasa dalam bahan konstruksi. Strategi inovatif dalam mengintegrasikan arang aktif ke dalam campuran semen sebagai bahan pengisi atau aditif (Restuccia et al., 2020). Arang aktif telah menunjukkan beberapa potensi yang menjanjikan untuk meningkatkan kinerja material semen melebihi aplikasi konvensional, namun masih terdapat kekurangan informasi mengenai pengaruh arang aktif terhadap struktur dan karakteristik kekuatan mortar (Ersan et al., 2015). Kekuatan mortar dipengaruhi oleh banyak faktor seperti bahan mortar, umur, rasio air terhadap bahan semen, dll (Nazari dan Riahi, 2011).

Dibandingkan dengan arang aktif murni, arang aktif yang telah direkayasa memiliki beberapa keunggulan saat dimasukkan ke dalam bahan mortar. Manfaat ini meliputi peningkatan permeabilitas dan kekuatan struktural yang lebih tinggi. Menurut penelitian sebelumnya, arang aktif dan biochar memiliki potensi yang menjanjikan sebagai aditif, pengganti semen, dan pemasok agregat untuk beton (Dagu et al., 2020). Untuk meningkatkan kekuatan mekanis komposit semen, ketangguhan retak, kemampuan penyerapan gelombang listrik dan elektromagnetik, arang aktif secara efektif sebagai pengisi dan penguat pada mortar (Khushnood et al., 2015).

Bahan alternatif juga menunjukkan efek positif pada kekuatan tekan. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Maxwell et al., (2020), kombinasi 50% plastik dan 50% biochar dalam produksi batu bata menghasilkan kuat tekan sebesar 20,68 MPa. Restuccia dan Ferro, (2016) menggunakan cangkang kemiri dan ampas kopi yang dipirolisis ditambahkan secara terpisah ke

dalam beton dengan persentase berat yang berbeda yaitu 0,5, 0,8, dan 1%. Hasil penelitian menunjukkan kuat tekan tertinggi sebesar 57,79 MPa dan 55,09 MPa, masing-masing dengan penambahan ampas kopi dan cangkang kemiri 0,5%. Sebaliknya penelitian lain seperti Zeidabadi et al., (2018); Mrad dan Chehab (2019) menemukan bahwa kekuatan tekan menurun pada persentase biochar yang lebih besar (5, 10, 15, 25, dan 40%). Temuan tersebut menunjukkan bahwa mortar yang mengandung biochar memiliki penurunan kekuatan tekan yang signifikan sebesar 20-98%.

Penelitian tentang pengaruh arang aktif terhadap kekuatan mekanik dan ketahanan pada mortar telah dilakukan. Namun, dapat dipahami bahwa terdapat beberapa ketidaksesuaian mengenai hal tersebut sehingga masih perlu dikaji, karena banyak parameter seperti cara *curing* yang berbeda, pemilihan komponen campuran, dan berbagai sistem pengikatan bahan pengisi. Permasalahan bahan pengisi yang ditambahkan terhadap sifat-sifat mortar merupakan salah satu isu penting yang perlu dikaji. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisa pengaruh arang aktif terhadap karakteristik mortar komposit semen meliputi kuat tekan, densitas dan daya serap air.

2. Metodologi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan September hingga November, bertempat di Laboratorium Kehutanan Universitas Pendidikan Mandalika, Laboratorium Teknik Sipil dan Fisika Terpadu Universitas Mataram. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan rancangan acak lengkap.

2.1 Alat dan Bahan

Alat penelitian ini meliputi kaliper, timbangan analitik, desikator, oven, parang, gergaji, alat pemadat, sendok perata, cetakan, *mixer cement*, gelas ukur, dan CTM (*Compressing Testing Machine*), sedangkan bahan terdiri dari semen, pasir, arang aktif, kalsium klorida (CaCl_2), dan *chips* kayu gamal. Arang aktif yang digunakan dalam penelitian ini yaitu arang aktif komersial berbahan batok kelapa, terbuat dengan suhu tinggi.

2.2 Rancangan Percobaan

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) non faktorial. Dalam penelitian ini diberikan perlakuan dengan penambahan arang aktif (1%, 2%, 3%, 4%, 5%) terhadap berat semen, dan dilakukan karakterisasi kuat tekan, densitas, serta daya serap air mortar komposit. Setiap perlakuan dilakukan pengulangan sebanyak 4 kali.

2.3 Cara Kerja

2.3.1 Persiapan Bahan Baku

Kayu gamal yang digunakan dalam penelitian ini diambil di Desa Sedau, Kecamatan Pemepek, Lombok Tengah. Kayu gamal terlebih dahulu dikeringkan di bawah sinar matahari untuk mengurangi kandungan air bahan baku. Kadar air bahan baku diukur menggunakan *moisture meter*, hingga mencapai kadar air di bawah 10%. Kayu gamal yang sudah kering dipotong-potong menggunakan parang dengan ukuran 0,5–1,5 cm, kemudian direbus selama 6 jam untuk membersihkan kotoran yang masih menempel pada kayu.

2.3.2 Komposisi Campuran

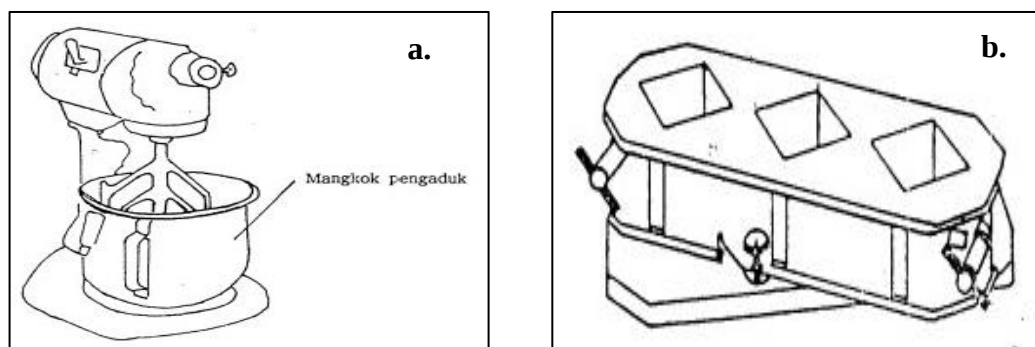
Komposisi campuran mortar komposit penambahan arang aktif terhadap berat semen (1%, 2%, 3%, 4%, dan 5%) dengan perbandingan semen dan pasir adalah 1 : 3. Komposisi tersebut akan diuji dan dianalisa pengaruhnya terhadap kuat tekan, densitas dan daya serap air mortar komposit. Rasio CaCl_2 dan air yang ditambahkan sebesar 0,5 dari berat semen yang bersifat konstan untuk semua contoh uji, sedangkan chips kayu gamal yang ditambahkan 1,5%, berdasarkan volume cetakan. Cetakan benda uji berbentuk kubus dengan panjang sisi 5 cm. Komposisi campuran contoh uji disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Campuran

No	Sampel	Arang aktif (gr)	Semen (gr)	Pasir (gr)	CaCl_2 (gr)	Chips kayu gamal (gr)	Air (gr)
1	Arang aktif 1%	0,31	31,25	93,75	0,47	1,88	15,63
2	Arang aktif 2%	0,62	31,25	93,75	0,47	1,88	15,63
3	Arang aktif 3%	0,93	31,25	93,75	0,47	1,88	15,63
4	Arang aktif 4%	1,25	31,25	93,75	0,47	1,88	15,63
5	Arang aktif 5%	1,57	31,25	93,75	0,47	1,88	15,63

2.3.3 Pembuatan Contoh Uji

Pembuatan adonan campuran terdiri dari 2 tahap. Tahap pertama diawali dengan pencampuran pasir, semen dan chips kayu gamal (pencampuran kering). Tahap kedua dilakukan pencampuran kalsium klorida (CaCl_2) dan air (pencampuran basah). Adonan dibuat dalam mesin pengaduk (*micer cement*) menggunakan kecepatan rpm 140 ± 5 putaran selama 1 menit dan 285 ± 10 putaran selama 1 menit. Adonan kemudian dimasukkan ke dalam cetakan, dan didiamkan selama 24 jam untuk proses *setting*. Setelah 24 jam contoh uji dikeluarkan dari cetakan, lalu direndam dalam air selama 28 hari untuk proses *curing*, selanjutnya contoh uji siap dilakukan pengujian. Alat yang digunakan dalam pencampuran adonan disajikan pada Gambar 1.



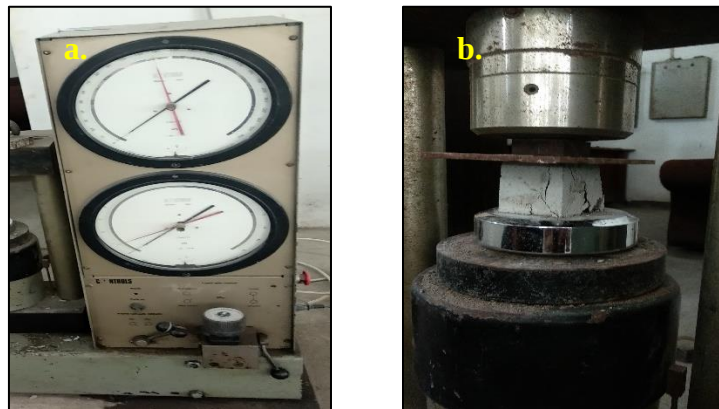
Gambar 1 a). Mesin pengaduk, b) Cetakan kubus (SNI-6825-2002).

2.3.4 Parameter Pengujian

Pengaruh penambahan arang aktif terhadap karakteristik mortar komposit dilakukan pengujian meliputi kuat tekan, densitas, dan daya serap air.

a. Kuat tekan

Kekuatan tekan mortar semen portland adalah gaya maksimum per satuan luas yang bekerja pada benda uji mortar semen portland berbentuk kubus dengan ukuran tertentu serta berumur tertentu. Ilustrasi pengujian kuat tekan disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2 a). Pembacaan beban, b) hasil pengujian (sumber: dokumentasi peneliti)

Pengujian kuat tekan mengacu pada Badan Standarisasi Nasional (2002) tentang metode pengujian kekuatan tekan mortar semen portland untuk pekerjaan sipil. Contoh uji kuat tekan berukuran $50 \times 50 \times 50 \text{ mm}^3$. Hasil pengujian kuat tekan dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$f'_m = \frac{P_{max}}{A} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

f'_m = Kuat tekan (MPa)

P_{max} = Gaya tekan maksimum (N)

A = Luas penampang (mm)

b. Densitas

Pengukuran densitas berdasarkan Badan Standarisasi Nasional. (2002) tentang metode pengujian kekuatan tekan mortar semen Portland untuk pekerjaan sipil, dengan menggunakan spesimen yang memiliki ukuran $50 \times 50 \times 50 \text{ mm}^3$. Spesimen contoh uji densitas adalah spesimen yang telah mengalami *setting* dan pengeringan. Berikut rumus untuk menghitung pengujian densitas:

$$\rho = \frac{m}{v} \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan:

ρ = Densitas (kg/cm³)
 m = Massa (kg)
 v = Volume (cm³)

Untuk menentukan densitas kering oven, contoh uji mortar dikeringkan dalam oven dengan suhu 103 °C selama 24 jam, kemudian sampel ditimbang kembali. Densitas kering oven dihitung menggunakan rumus persamaan 2.

c. Daya serap air

Pengujian daya serap air mortar bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan arang aktif pada mortar komposit. Contoh uji dimasukkan ke dalam oven selama 24 jam pada suhu 60 °C, kemudian sampel ditimbang kembali. Berdasarkan persamaan 3, m_{jenuh} adalah massa contoh uji setelah direndam dan m_{kering} adalah massa contoh uji sebelum direndam. Selisih berat sampel akan menentukan persentase penyerapan air. Ilustrasi pengujian daya serap air disajikan pada Gambar 3.

$$\text{Daya serap air} = \left[\frac{m_{jenuh} - m_{kering}}{m_{kering}} \right] \times 100\% \dots\dots\dots(3)$$



Gambar 3 a). Pengeringan sampel, b) Perendaman sampel (sumber: dokumentasi peneliti)

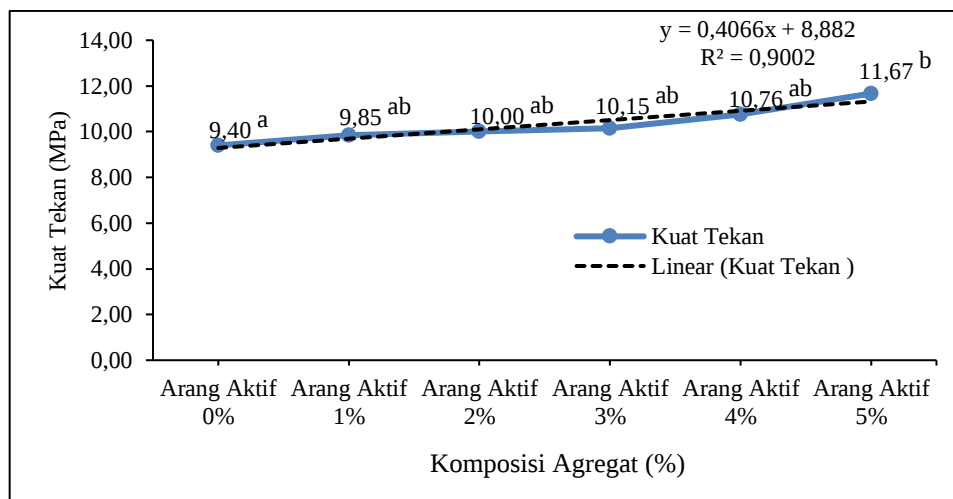
2.4 Analisis Data

Data hasil penelitian akan dianalisis menggunakan *analysis of variance* (ANOVA) dengan bantuan microsoft excel. Apabila nilai signifikansinya lebih kecil dari 5%, akan dilakukan uji lanjut *Duncan*.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Kuat Tekan Mortar Komposit

Nilai kuat tekan mortar komposit yang mengandung arang aktif disajikan pada Gambar 4. Hasil penelitian menunjukkan nilai kuat tekan mortar komposit mengalami peningkatan yang signifikan untuk seluruh contoh uji. Contoh uji dengan penambahan arang aktif 5% mempunyai kuat tekan tertinggi sebesar 11,67 MPa, sedangkan nilai terendah terdapat pada kontrol sebesar 9,40 MPa. Hal ini terjadi akibat adanya pengaruh dari arang aktif dan semen yang mengakibatkan terbentuknya mortar yang padat (Jung et al., 2019). Hasil *analysis of variance* (ANOVA) menunjukkan persentase penambahan arang aktif tidak berpengaruh nyata terhadap daya serap air mortar komposit (Gambar 4).



Keterangan: Notasi *superskrip* pada nilai analisis menunjukkan tidak ada perbedaan pada signifikansi 5%.

Gambar 4. Kuat tekan mortar komposit

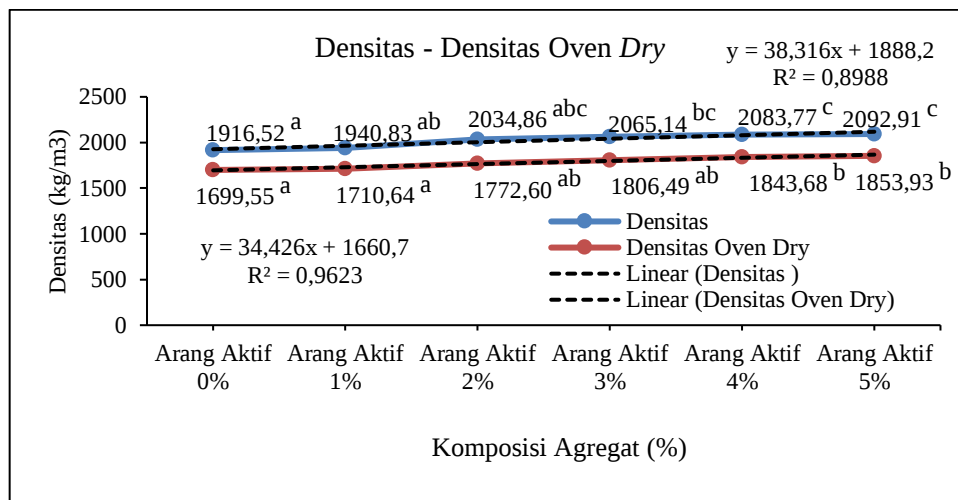
Hubungan daya serap air dengan penambahan kandungan arang aktif pada campuran mortar komposit ditunjukkan pada Gambar 4. Terlihat adanya hubungan linier yang kuat antara kuat tekan dan persentase kandungan arang aktif. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Syafigh et al., 2020; Safiuddin et al., 2020; Hatungimana et al., 2019). Arang aktif berperan utama sebagai bahan pengisi yang dicampurkan ke dalam semen dan memberikan hasil yang lebih baik dengan waktu perendaman yang lebih lama (Karim et al., 2011). Selain itu, keberadaan arang aktif yang berperan sebagai bahan pengisi pada mortar dapat menempel pada pori-pori, sehingga porositas mortar menjadi berkurang. Nilai kuat tekan mortar yang digabungkan dengan arang aktif lebih tinggi dibandingkan dengan campuran mortar kontrol (Mardani-Aghabaglou et al., 2014). Secara umum, kenaikan densitas dan penurunan kandungan udara yang terperangkap akan meningkatkan kuat tekan (Safiuddin et al., 2021).

Kuat tekan seluruh contoh uji mengalami peningkatan seiring dengan penambahan arang aktif. Nilai kuat tekan dalam penelitian ini dapat dikaitkan dengan proses hidrasi arang aktif yang mengisi pori-pori pasta semen (Moon et al., 2017). Nilai kuat tekan hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian sebelumnya (Dagu et al., 2020; Na et al., 2021). Secara keseluruhan nilai kuat tekan mortar komposit hasil penelitian ini digolongkan pada mutu beton K100 yang diperuntukkan untuk beton non-struktural (mutu $f_c > 8,3$ MPa) (Badan Standarisasi Nasional, 2002). Kuat tekan rata-rata mortar untuk dinding tanpa beban 2,4 MPa, dinding penahan beban

5,2 MPa, dan dinding pondasi 12,4 MPa (American Society for Testing and Materials, 2008). Nilai kuat tekan menggambarkan kemampuan contoh uji dalam menahan beban hingga titik hancurnya, sehingga walaupun bersifat non-struktural, mortar tersebut tetap harus mampu menyebarkan beban agar tidak hancur ketika dipergunakan terhadap suatu pembebanan dalam jangka waktu tertentu (Prajapati et al, 2022).

3.2 Densitas Mortar Komposit

Densitas mortar komposit dilakukan dengan dua metode pengukuran yaitu densitas ketika *setting* (*bulk density*) dan densitas kering oven (*density oven dry*). Nilai densitas mortar komposit yang mengandung arang aktif disajikan pada Gambar 5. Hasil penelitian menunjukkan nilai densitas mortar komposit mengalami peningkatan untuk seluruh contoh uji. Densitas pada kontrol 0% (tanpa arang aktif) adalah 1916,52 kg/m³, sedangkan densitas pada penambahan arang aktif adalah 2092,91 kg/m³. Hasil *analysis of variance* (ANOVA) menunjukkan persentase penambahan arang aktif berpengaruh nyata terhadap densitas mortar komposit, namun pada densitas kering oven tidak signifikan (Gambar 5).



Keterangan: Notasi *superskrip* yang sama pada nilai analisis menunjukkan tidak ada perbedaan pada signifikansi 5%.

Gambar 5. Densitas mortar komposit

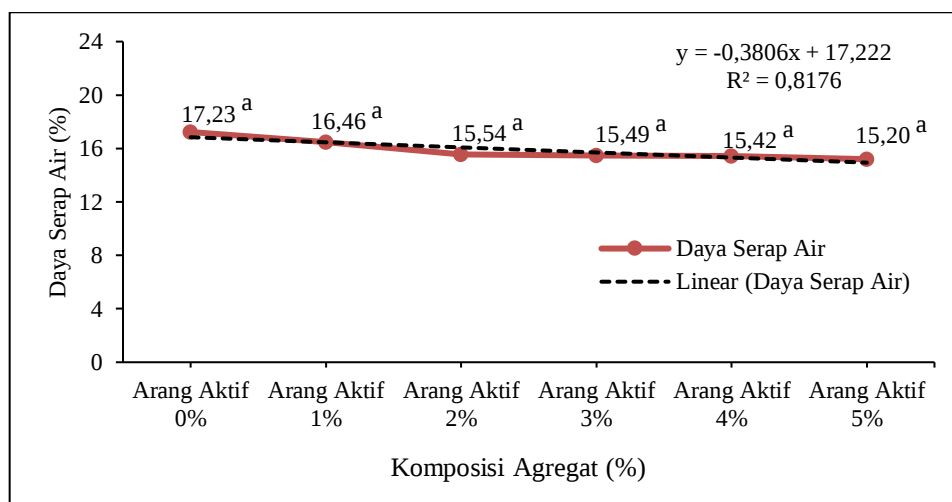
Hubungan densitas *setting*-densitas kering oven dengan penambahan kandungan arang aktif pada campuran mortar komposit ditunjukkan pada Gambar 5. Terlihat adanya hubungan linier yang kuat antara densitas dan persentase kandungan arang aktif. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Falliano et al., 2019). Densitas kering mortar memainkan peran penting dalam pencapaian kekuatan (Long dan Wang, 2015; Thakrele, 2014). Hasil penelitian juga menggambarkan bahwa semakin banyak jumlah kandungan arang aktif (agregat ringan atau bahan pengisi) yang ditambahkan pada campuran mortar maka semakin tinggi pula densitasnya. Densitas kering pada mortar dapat diaplikasikan berkisar pada 1200–2200 kg/m³ tergantung peruntukannya (Hendriko et al., 2023).

Kandungan arang aktif 5% menunjukkan struktur yang kurang berpori. Hal ini juga diperkuat dengan hasil densitas, dimana rata-rata campuran arang aktif 5% mengalami

peningkatan. Hal ini menunjukkan bahwa partikel arang aktif dapat mengisi dan memperkecil volume pori-pori akibat efek fisik dan reaksi silika senyawa amorf yang terdapat pada campuran (Rocha et al., 2024). Pengukuran densitas *oven-dry* atau densitas kering bertujuan untuk memastikan kapasitas *water retention* mortar pada saat yang sama (Wang et al, 2022). *Water retention* merupakan faktor penting dalam proses *curing* komposit berbasis semen karena membantu mencapai stabilitas kekuatan mekanis yang efektif. Jika *Water retention* rendah, *water bleeding* akan terjadi lebih sering, yang akan menyebabkan mortar kehilangan jumlah udara yang diperlukan untuk *curing* (Mousa et al, 2015; Gu et al, 2022).

3.3 Daya Serap Air Mortar Komposit

Daya Serap air merupakan persentase masuknya air ke dalam mortar semen (Asadi et al., 2021). Daya serap air mortar komposit dengan penambahan arang aktif berbeda ditunjukkan pada Gambar 6. Daya serap air mortar komposit cenderung mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya persentase kandungan arang aktif yang ditambahkan, hal ini disebabkan banyaknya produk terhidrasi, sehingga strukturnya semakin padat (Huang dan Zhao, 2019). Aktivitas arang aktif memberikan efek pada tahap pengikatan awal dengan pasta semen (Huang et al., 2015). Dengan demikian penambahan arang aktif dapat menurunkan porositas mortar komposit. Hasil *analysis of variance* (ANOVA) menunjukkan persentase penambahan arang aktif tidak berpengaruh nyata terhadap daya serap air mortar komposit (Gambar 6).



Keterangan: Notasi *superskrip* pada nilai analisis menunjukkan tidak ada perbedaan pada signifikansi 5%.

Gambar 6. Daya serap air mortar komposit

Daya serap air mortar komposit dengan penambahan arang aktif berkisar antara 15,20–17,23%. Daya serap air tertinggi terdapat pada tanpa penambahan arang aktif (0%), dan terendah dengan penambahan arang aktif 5%. Campuran mortar komposit yang mengandung arang aktif memiliki porositas 4–11% lebih sedikit dibandingkan campuran kontrol. Mortar komposit dengan arang aktif mempunyai volume ruang pori yang lebih permeabel dibandingkan campuran yang tidak mengandung arang aktif. Hal ini membuktikan bahwa kandungan arang aktif yang tinggi, mampu memperkecil pori-pori antar partikel, karena arang aktif dapat berperan sebagai bahan pengisi mortar. Kinerja penyerapan air sangat erat kaitannya dengan distribusi pori dan porositas material semen (Zhao et al., 2020). Hubungan daya serap air dengan penambahan kandungan

arang aktif pada campuran mortar komposit ditunjukkan pada Gambar 6. Terlihat adanya hubungan linier yang kuat antara daya serap air dan persentase kandungan arang aktif. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Jung et al., 2019; Hatungimana et al., 2019; Huang dan Zhao, 2019). Penyerapan air merupakan indikator penting dari sifat jangka panjang komposit semen (Siad et al., 2019; Alderete et al., 2020).

Dalam penelitian ini arang aktif yang digunakan berbentuk partikel halus (komersial). Peningkatan ukuran partikel yang lebih kecil, dapat berpengaruh signifikan terhadap penyerapan air dari mortar (Ma et al., 2020). Kehalusan arang aktif yang tinggi juga berkontribusi terhadap struktur mikro yang lebih padat karena partikel arang aktif akan cenderung menempati ruang bebas antar partikel semen yang terhidrasi (Hatungimana et al., 2019). Penambahan arang aktif berdasarkan berat terhadap semen dapat memperbaiki jaringan pori dan menurunkan penyerapan air pada material berbasis semen (Ehsani et al., 2017).

4. Kesimpulan

Penambahan arang aktif tidak berpengaruh signifikan terhadap karakteristik mortar komposit, kecuali pada densitas *setting*. Penambahan arang aktif sebesar 5% menunjukkan komposisi optimal dengan nilai kuat tekan 11,67 MPa, densitas *setting* 2092,91 kg/m³, densitas *oven dry* 1853,93 kg/m³, dan daya serap air 15,20%. Secara keseluruhan karakteristik mortar komposit cenderung meningkat seiring bertambahnya persentase kandungan arang aktif yang ditambahkan pada campuran, dan terlihat adanya hubungan linier yang kuat antara kuat tekan, densitas dan daya serap air terhadap kandungan arang arang aktif.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terimakasih kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi yang telah mendanai penelitian ini dengan nomor hibah 110/E5/PG.02.00.PL/2024. Laboratorium Kehutanan, Kimia Universitas Pendidikan Mandalika Mataram, Laboratorium MIPA, Laboratorium Teknik Universitas Mataram, Laboratorium Terpadu Universitas Islam Negeri Mataram yang mendukung kegiatan penelitian ini.

Daftar Pustaka

- American Society for Testing and Materials. (2008). *Standard specification for mortar for unit masonry (ASTM C270)*. Philadelphia, PA: ASTM International.
- Alderete, N. M., Zaccardi, Y. A., & De Belie, N. (2020). Mechanism of long-term capillary water uptake in cementitious materials. *Cement and Concrete Composites*, 106, 103448. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2019.103448>
- Asadi, I., Shafigh, P., Hashemi, M., Akhiani, A. R., Maghfouri, M., Sajadi, B., Mahyuddin, N., Esfandiari, M., Talebi, H. R., & Metselaar, H. S. C. (2020). Thermophysical properties of sustainable cement mortar containing oil palm boiler clinker (OPBC) as a fine aggregate. *Construction and Building Materials*, 268, 121091. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121091>
- Babar, A. A., Panhwar, I., Qureshi, S., Memon, S., & Siddiqui, Z. (2019). Utilization of biomass (rice straw) to produce activated charcoal through single stage pyrolysis

process. *Journal of International Environmental Application & Science*, 14(1), 1–6.

- Badan Standarisasi Nasional. (2002). *Metode pengujian kekuatan tekan mortar semen portland untuk pekerjaan sipil (SNI 03-6825-2002)*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. (2002). *Tata cara perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung (Beta version) (SNI 03-2847-2002)*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Benabed, B., Soualhi, H., Ase, B., Azzouz, L., Kadri, E., & Kenai, S. (2016). Effect of limestone powder as a partial replacement of crushed quarry sand on properties of self-compacting repair mortars. *Journal of Building Materials and Structures*, 3(1), 15–30. <https://doi.org/10.34118/jbms.v3i1.21>
- Dagu, C. D., Yang, X., Yingkong, S., Paul, S. C., Susilawati, & Wong, L. S. (2020). Mechanical and thermal properties of lightweight concrete incorporated with activated carbon as coarse aggregate. *Journal of Building Engineering*, 31, 101347. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101347>
- Dzigita, N., Girskas, G., & Gintautas, S. U. (2017). Properties of concrete modified with mineral additives. *Construction and Building Materials*, 135, 37–42. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.12.215>
- Ehsani, A., Nili, M., & Shaabani, K. (2017). Effect of nanosilica on the compressive strength development and water absorption properties of cement paste and concrete containing fly ash. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 21(5), 1–12. <https://doi.org/10.1007/s12205-016-0853-2>
- Ersan, Y. C., Da Silva, F. B., Boon, N., Verstraete, W., & De Belie, N. (2015). Screening of bacteria and concrete compatible protection materials. *Construction and Building Materials*, 88, 196–203. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.04.027>
- Falliano, D., De Domenico, D., Ricciardi, G., & Gugliandolo, E. (2019). Compressive and flexural strength of fiber-reinforced foamed concrete: Effect of fiber content, curing conditions and dry density. *Construction and Building Materials*, 198, 479–493. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.11.197>
- Farghali, M., Osman, A. I., Umetsu, K., & Rooney, D. W. (2022). Integration of biogas systems into a carbon zero and hydrogen economy: A review. *Environmental Chemistry Letters*, 20, 2853–2927. <https://doi.org/10.1007/s10311-022-01468-z>
- Gu, L., Liu, T., Wu, K., Yang, Z., Wen, Z., Zhang, Z., & Li, H. (2022). Temperature-dependent water retention and bleeding of fresh cement-based materials with VEAs. *Cement and Concrete Composites*, 130. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2022.104539>
- Hatungimana, D., Taskopru, C., Ichedef, M., Sac, M. M., & Yazıcı, S. (2019). Compressive strength, water absorption, water sorptivity and surface radon exhalation rate of silica fume and fly ash based mortar. *Journal of Building Engineering*, 23, 369–376. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.01.011>
- Heidari, A., Hashembour, M., Javdanian, H., & Karimian, M. (2018). Investigation of mechanical properties of mortar with mixed recycled aggregates. *Asian Journal of Civil Engineering*, 19(5), 583–593. <https://doi.org/10.1007/s42107-018-0044-1>

- Hendriko, A., Juwono, A. L., Budiman, I., Subyakto, Soegijono, B., Sadir, M., Sudarmanto, Purnomo, D., Narto, Akbar, F., Setyolisdianto, J. A., & Kristianto, M. A. (2023). Mechanical and thermal properties of non-structural adhesive mortar using linear low-density polyethylene (LLDPE) with vinyl acetate/ethylene (VAE) interface. *Colloid and Polymer Science*. <https://doi.org/10.1007/s00396-023-05216-9>
- Huang, Q., & Zhao, L. (2019). Correlation between compressive strengths and water absorption of fly ash cement mortar immersed in water. *Archives of Civil Engineering*, 65(3), 141–152. <https://doi.org/10.2478/ace-2019-0040>
- Huang, Q., Wang, C., Yang, C., Zhou, L., & Yin, J. (2015). Accelerated sulfate attack on mortars using electrical pulse. *Construction and Building Materials*, 95, 875–881. <https://doi.org/10.2478/ace-2019-0040>
- Jung, C. T., Siang, T. C., Kwong, T. H., & Boon, K. H. (2019). Compressive strength and water absorption of mortar incorporating silica fume. *International Journal of Civil Engineering (SSRG-IJCE)*, 6(8), 39–43. <https://doi.org/10.14445/23488352/IJCE-V6I8P106>
- Khalil, M. Y., & Fawzy, A. A. (2020). Mechanical, microstructural and absorption properties of cement mortar containing different types of nano-clay. *Construction and Building Materials*, 248, 118656. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118656>
- Luhar, S., & Luhar, I. (2022). Durability performance of self-compacting concrete incorporating fly ash and rice husk ash. *Case Studies in Construction Materials*, 17, e01304. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01304>
- Machado, M. T. A., Mendes, M. T., Gois, M. R., & Silva, F. D. A. (2016). Evaluation of the properties of cement-based mortars with activated charcoal. *Journal of Building Pathology and Rehabilitation*, 1, 10. <https://doi.org/10.1007/s41024-016-0012-6>
- Mahrous, B., Sorour, M., Abdelrahman, M., & Khater, H. (2022). Development of sustainable mortar using fly ash and steel slag. *Case Studies in Construction Materials*, 16, e01012. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01012>
- Maslehuddin, M., & Shameem, M. (2012). Factors affecting durability of concrete. In Siddique, R. (Ed.), *Green concrete: Properties and applications* (pp. 155–174). Nova Science Publishers.
- Miller, S. A., Horvath, A., & Monteiro, P. J. M. (2016). Readily implementable techniques can cut annual CO₂ emissions from the production of concrete by over 20%. *Environmental Research Letters*, 11(7), 074029. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/7/074029>
- Morsy, M. S., Alsayed, S. H., & Aqel, M. (2010). Hybrid effect of carbon nanotube and nano-clay on physico-mechanical properties of cement mortar. *Construction and Building Materials*, 24(1), 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.08.044>
- Nasution, A. H., Manullang, O. H. H., & Ginting, T. A. (2020). Pemanfaatan karbon aktif dari tempurung kelapa sawit untuk penjernihan air sumur bor. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 9(1), 1–7. <https://doi.org/10.32734/jtk.v9i1.3638>
- Purbasari, H. K., Zainuri, M., & Rahmawati, F. (2017). Sintesis karbon aktif dari limbah biomassa tempurung kelapa sawit dengan aktivator H₃PO₄ dan aplikasi pada adsorpsi

- fenol. *Jurnal Kimia Valensi*, 3(2), 132–138. <https://doi.org/10.15408/jkv.v3i2.6461>
- Putra, R. B., Santoso, D. A., & Yuliasih. (2020). Pengaruh variasi kadar karbon aktif terhadap kuat tekan mortar semen. *Jurnal Reka Buana*, 5(3), 143–147. <https://doi.org/10.33366/rekabuana.v5i3.1792>
- Ramadhani, A. A., Maulana, T., & Gunawan, R. (2017). Pemanfaatan karbon aktif dari cangkang kelapa sawit sebagai adsorben logam berat Pb (timah hitam) pada limbah cair laboratorium. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 6(2), 33–38. <https://doi.org/10.32734/jtk.v6i2.4723>
- Sharma, R., & Bansal, P. (2016). Use of different types of nano silica in self-compacting concrete. *Perspectives in Science*, 8, 295–297. <https://doi.org/10.1016/j.pisc.2016.04.059>
- Surya, A. B., & Effendy, H. (2019). Pengaruh karbon aktif dari limbah sekam padi terhadap kuat tekan beton. *Jurnal Konstruksia*, 11(2), 78–83. <https://doi.org/10.22216/jk.v11i2.4083>
- Susanti, I., & Falah, M. (2021). Pengaruh karbon aktif dari kulit pisang terhadap sifat mekanik mortar semen. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 7(2), 114–121. <https://doi.org/10.12962/jtsl.v7i2.8729>
- Zhang, P., Gao, Y., & Xue, X. (2019). Effect of nano-clay on the mechanical properties and durability of cement-based materials. *Construction and Building Materials*, 211, 303–313. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.229>