

Pengaruh Substitusi Parsial Pasir Dengan Biochar Terhadap Kuat Tekan dan Uji Serap Air Mortar Ramah Lingkungan

M. Jabir M*, Adnan, Andrialdy Taqwa, Imam Fadly

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Parepare, Sulawesi Selatan

*Koresponden email: jabirdiah@gmail.com

Diterima: 17 Juni 2026

Disetujui: 30 Juni 2026

Abstract

This study investigated the effect of partially replacing sand with biochar on the compressive strength and water absorption of environmentally friendly mortar. The experimental study was conducted in the Materials and Structures Laboratory of the Civil Engineering Programme at the University of Muhammadiyah Parepare. Mortar specimens in the form of cubes measuring $50 \times 50 \times 50$ mm were used, with variations in the proportion of biochar relative to the weight of the sand of 0%, 10%, 20% and 30%. Compressive strength was tested at 7, 14, and 28 days, while water absorption was tested at 28 days. The results show that adding biochar affects the mortar's physical and mechanical properties. Water absorption increased with the percentage of biochar, with normal mortar showing an average value of 11.95%, compared to 13.77%, 18.66% and 19.44% for the 10%, 20% and 30% variations, respectively. In compression tests, normal mortar produced the highest compressive strength of 16.00 MPa after 28 days. The 10% biochar variation produced a sufficient compressive strength of 15.33 MPa after 28 days. However, a decrease in compressive strength was observed in the 20% and 30% samples compared to normal mortar. Based on these results, it can be concluded that using biochar as a partial substitute for sand is an effective way to create environmentally friendly mortar mixtures. The 10% biochar variation is the most optimal composition as it maintains the mortar's compressive strength while only slightly increasing water absorption.

Keywords: mortar, biochar, compressive strength, water absorption, environmentally friendly mortar

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh substitusi parsial pasir dengan biochar terhadap kuat tekan dan daya serap air mortar ramah lingkungan. Penelitian dilakukan secara eksperimental di Laboratorium Material dan Struktur Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Parepare menggunakan benda uji mortar berbentuk kubus berukuran $50 \times 50 \times 50$ mm dengan variasi biochar sebesar 0%, 10%, 20%, dan 30% terhadap berat pasir. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 7, 14, dan 28 hari, sedangkan pengujian daya serap air dilakukan pada umur 28 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan biochar mempengaruhi sifat fisik dan mekanik mortar. Nilai daya serap air meningkat seiring bertambahnya persentase biochar, dimana mortar normal memiliki daya serap air rata-rata sebesar 11,95%, sedangkan variasi 10%, 20%, dan 30% berturut-turut sebesar 13,77%, 18,66%, dan 19,44%. Pada pengujian kuat tekan, mortar normal menghasilkan kuat tekan tertinggi sebesar 16,00 MPa pada umur 28 hari, sedangkan variasi biochar 10% masih menunjukkan kuat tekan yang cukup baik sebesar 15,33 MPa, namun pada variasi 20% dan 30% terjadi penurunan kuat tekan dibanding mortar normal. Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa penggunaan biochar sebagai substitusi parsial pasir dapat diterapkan pada campuran mortar ramah lingkungan. Variasi biochar 10% merupakan komposisi paling optimal karena masih mampu mempertahankan kuat tekan mortar dengan peningkatan daya serap air yang relatif kecil.

Kata Kunci: mortar, biochar, kuat tekan, daya serap air, mortar ramah lingkungan

1. Pendahuluan

Mortar merupakan material bangunan fundamental yang memegang peran esensial dalam konstruksi bangunan modern dan struktur teknik sipil. Secara teknis, mortar membentuk matriks yang mengikat komponen seperti bata, batu, atau batako menjadi satu kesatuan struktur yang padat dan stabil dengan cara mengisi celah serta menyalurkan tekanan secara merata di bawah beban layan. Selain berfungsi sebagai bahan perekat, mortar juga berperan dalam meningkatkan kestabilan, kekuatan, dan integritas struktur pasangan dinding sehingga mampu menahan beban yang bekerja secara lebih efektif. Kinerja mortar sangat dipengaruhi oleh kualitas bahan penyusunnya, yaitu semen, agregat halus, air, serta bahan tambah yang digunakan dalam campuran [1], Kinerja mortar umumnya dievaluasi berdasarkan sifat

mekanik dan sifat fisiknya. Salah satu parameter mekanik yang paling penting adalah kuat tekan, karena menunjukkan kemampuan mortar dalam menahan beban tanpa mengalami kerusakan. Sementara itu, daya serap air merupakan parameter fisik yang berkaitan dengan tingkat porositas material. Nilai daya serap air yang tinggi menunjukkan banyaknya pori yang terbentuk di dalam mortar, yang dapat mempengaruhi durabilitas dan ketahanan material terhadap penetrasi air maupun zat agresif dari lingkungan. Oleh karena itu, pengujian kuat tekan dan daya serap air sering digunakan untuk menilai kualitas mortar serta pengaruh penggunaan material alternatif dalam campurannya [2].

Perkembangan teknologi material konstruksi mendorong banyak penelitian mengenai modifikasi mortar untuk meningkatkan sifat mekanik dan durabilitasnya. Berbagai bahan tambahan, baik yang berasal dari limbah industri maupun material alami, telah digunakan sebagai substitusi sebagian bahan penyusun mortar guna memperoleh performa yang lebih baik sekaligus mengurangi dampak lingkungan. Perubahan komposisi campuran dapat memengaruhi kuat tekan, kuat tarik, porositas, daya serap air, serta ketahanan mortar terhadap lingkungan agresif. Oleh karena itu, pemilihan jenis dan proporsi material dalam campuran menjadi faktor penting untuk menghasilkan mortar dengan kualitas yang optimal [3].

Produksi semen merupakan salah satu penyumbang emisi karbon dioksida (CO₂) terbesar dalam sektor konstruksi. Seiring meningkatnya kebutuhan pembangunan infrastruktur, konsumsi semen terus bertambah dan berdampak pada peningkatan emisi gas rumah kaca. Material yang berpotensi digunakan adalah biochar, yaitu material karbon hasil proses pirolisis biomassa yang berasal dari limbah pertanian, kehutanan, maupun agroindustri. Penggunaan biochar dalam material berbasis semen tidak hanya berkontribusi pada pengurangan limbah, tetapi juga mendukung konsep konstruksi berkelanjutan melalui pengurangan jejak karbon [4]. Dalam bidang konstruksi, biochar berpotensi digunakan sebagai bahan substitusi parsial semen atau agregat halus pada mortar dan beton. Struktur pori yang dimiliki biochar dapat membantu meningkatkan kemampuan retensi air dalam campuran, sehingga mendukung proses hidrasi semen pada umur awal. Selain itu, ukuran partikel biochar yang halus dapat berperan sebagai filler yang mengisi rongga-rongga mikro dalam matriks mortar, sehingga berpotensi memperbaiki struktur mikro material [5].

Biochar merupakan material kaya karbon yang dihasilkan melalui proses pirolisis biomassa dalam kondisi oksigen terbatas dan telah banyak dimanfaatkan sebagai bahan pembenah tanah (soil amendment). Pergeseran ini diterapkan melalui pemanfaatan limbah industri atau material daur ulang sebagai substitusi parsial bahan baku. Penggunaan biochar mampu memberikan dampak positif terhadap berbagai sifat fisik, kimia, dan biologis tanah [6]. Integrasi material alternatif kaya karbon, seperti biochar yang diperoleh dari pirolisis biomassa organik dalam kondisi keterbatasan oksigen, menawarkan jalur yang menjanjikan. Secara struktural, biochar memiliki jaringan internal yang sangat berpori dan stabilitas karbon yang tinggi, yang sangat bermanfaat untuk aplikasi lingkungan dan berpotensi bertindak sebagai agen penangkap karbon di dalam material sipil [7].

Namun, ketergantungan yang tinggi pada bahan-bahan konvensional ini memicu tantangan lingkungan yang serius. Eksploitasi pasir sungai secara berlebihan telah menyebabkan degradasi ekosistem perairan, penurunan dasar sungai, dan memicu bencana banjir di berbagai daerah konstruksi [8]. Oleh karena itu, paradigma industri konstruksi global saat ini mulai bergeser dari sekadar mengutamakan kekuatan mekanik ke arah pengembangan material komposit yang berkelanjutan (sustainable) dan ramah lingkungan [9]. Salah satu strategi inovatif yang terus dikembangkan oleh para peneliti internasional adalah memanfaatkan limbah industri atau material biomassa sebagai bahan substitusi parsial penyusun mortar. Pendekatan ini bertujuan untuk mengurangi penggunaan semen Portland yang memiliki jejak karbon tinggi, sekaligus meningkatkan nilai guna limbah yang sebelumnya tidak termanfaatkan. Salah satu material yang banyak diteliti adalah biochar, yaitu material kaya karbon yang dihasilkan melalui proses pirolisis biomassa seperti sekam padi, limbah kayu, limbah pertanian, dan biomassa lainnya.. [10].

Biochar juga merupakan material padat berpori kaya karbon yang diproduksi melalui proses pirolisis atau dekomposisi termal biomassa organik pada kondisi minim oksigen atau oxygen-limited [11]. Karakteristik utama biochar meliputi luas permukaan spesifik yang besar, stabilitas kimia yang tinggi, serta struktur mikro yang sangat berpori. Melalui struktur berpori ini, penggunaan biochar di dalam campuran semen tidak hanya bertindak sebagai pengisi (filler) tetapi juga memberikan fungsi retensi air internal yang membantu mengoptimalkan proses hidrasi semen jangka panjang [12]. Selain memberikan nilai tambah fisik, pemanfaatan biochar dalam mortar juga berkontribusi langsung pada program mitigasi perubahan iklim melalui mekanisme sequestrasi karbon (carbon sequestration), di mana karbon atmosferik dikunci secara permanen di dalam matriks bangunan yang stabil. Oleh karena itu, pemanfaatan biochar dalam mortar tidak hanya mendukung prinsip ekonomi sirkular melalui pemanfaatan limbah biomassa, tetapi juga berpotensi menghasilkan material konstruksi yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan [13].

Penelitian ini berfokus pada pengembangan mortar ramah lingkungan melalui pemanfaatan biochar yang bersumber dari biomassa lokal Kota Parepare sebagai bahan substitusi parsial agregat halus, dengan agregat pasir yang berasal dari Sungai Lasape, Kabupaten Pinrang. Pemanfaatan sumber daya lokal ini diharapkan dapat meningkatkan nilai tambah limbah biomassa sekaligus mengurangi ketergantungan terhadap material konvensional dalam industri konstruksi. Namun, penerapan biochar sebagai material alternatif pada mortar masih menghadapi berbagai tantangan, terutama di negara berkembang seperti Indonesia, yang ditandai dengan terbatasnya data empiris mengenai karakteristik material, pengaruhnya terhadap sifat mortar, serta belum tersedianya standar campuran yang baku untuk penggunaannya. Oleh karena itu, penelitian eksperimental ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh variasi kadar biochar sebesar 0%, 10%, 20%, dan 30% sebagai substitusi parsial agregat halus terhadap sifat mekanik dan fisik mortar. Parameter yang dikaji meliputi perkembangan kuat tekan serta daya serap air pada umur pengujian tertentu, sehingga dapat diperoleh pemahaman yang lebih komprehensif mengenai hubungan antara tingkat penggunaan biochar dan kinerja mortar komposit. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar pengembangan material konstruksi yang lebih berkelanjutan serta mendukung pemanfaatan biochar sebagai material ramah lingkungan di sektor konstruksi Indonesia.

2. Metode penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari lokasi geografis spesifik di Provinsi Sulawesi Selatan, Indonesia. Limbah biochar diperoleh dari Kota Parepare. Agregat halus (pasir) yang digunakan sebagai basis matriks diperoleh dari Sungai Lasape, Kabupaten Pinrang. Bahan pengikat yang dipilih untuk campuran ini adalah Portland Composite Cement (PCC) dengan merek komersial Semen Tonasa. Air disediakan secara lokal oleh Laboratorium Bahan dan Struktur Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Parepare, yang juga berfungsi sebagai fasilitas pengujian utama.

Investigasi eksperimental ini menggunakan benda uji mortar berbentuk kubus dengan dimensi tetap $50 \times 50 \times 50$ mm. Desain campuran mengikuti pedoman SNI 8640:2018 dengan basis target input kepadatan sebesar 800 kg/m^3 dan rasio semen terhadap pasir sebesar 1:3, yang diatur dengan rasio air terhadap semen (w/c) konstan sebesar 0,4. Untuk mengukur secara akurat komponen material spesifik yang diperlukan oleh setiap kelompok sampel, ringkasan kebutuhan takaran (batching) untuk pengecoran 9 kubus per variasi disajikan dalam **Tabel 1**.

Tabel 1. Proporsi Campuran Material untuk 9 Benda Uji Kubus Mortar

Kelompok Variasi	Semen	Pasir	Air	Biochar
Mortar Normal (0% Biochar)	0,482 kg	1,417 kg	0,283 Liter	0,000 kg
Substitusi Biochar 10%	0,482 kg	1,276 kg	0,283 Liter	0,038 kg
Substitusi Biochar 20%	0,482 kg	1,134 kg	0,283 Liter	0,076 kg
Substitusi Biochar 30%	0,482 kg	0,992 kg	0,283 Liter	0,115 kg

Agregat halus menjalani beberapa prosedur laboratorium sebelum pencampuran, termasuk uji zat pengotor organik menggunakan larutan NaOH (menghasilkan Nomor Indeks 2 yang memenuhi syarat), analisis kadar lumpur (rata-rata 4,66%, memenuhi ambang batas maksimal 5%), uji kadar air (rata-rata 3,85%), serta pemeriksaan berat jenis. Pemantauan kuat tekan direncanakan pada umur perawatan 7, 14, dan 28 hari dengan total susunan sampel sebanyak 36 spesimen, sedangkan analisis penyerapan air ditetapkan tepat pada umur 28 hari.

2.1 Pengujian Daya Serap Air

Pengujian daya serap air dilakukan pada umur 28 hari untuk mengukur tingkat porositas di dalam hardened mortar menggunakan 12 sampel kubus berdasarkan [14]. Benda uji ditimbang dalam kondisi basah jenuh kering permukaan (Saturated Surface Dry - SSD), kemudian dikeringkan di dalam oven pada suhu 105° konstan selama 24 jam hingga mencapai massa yang stabil. Persentase penyerapan air dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Daya srap air (\%)} = \frac{W \text{ basah} - W \text{ kering}}{W \text{ kering}} \times 100$$

Keterangan :

W basah = berat mortar kondisi basah permukaan jenuh/SSD (gram)

W keiring = berat mortar kondisi kering setelah di oven 24 jam (gram)

2.2 Pengujian kuat tekan

Pengujian kuat tekan mortar dilakukan menggunakan mesin uji tekan *Universal Testing Machine* (UTM) pada umur perawatan 7, 14, dan 28 hari sesuai acuan standar [15]. Tekanan diberikan secara aksial dengan laju pembebanan yang konstan hingga mengakibatkan benda uji mengalami keruntuhan (pecah). Nilai kuat tekan mekanis dihitung berdasarkan persamaan berikut :

$$f'c = \frac{P}{A}$$

Keterangan:

$f'c$ = Kuat tekan mortar (Mpa)

P = Beban maksimum runtuh (N)

A = Luas penampang efektif bidang tekan (2500 mm²)

3. Hasil Dan Pembahasan

3.1 Sifat-Sifat Agregat Halus

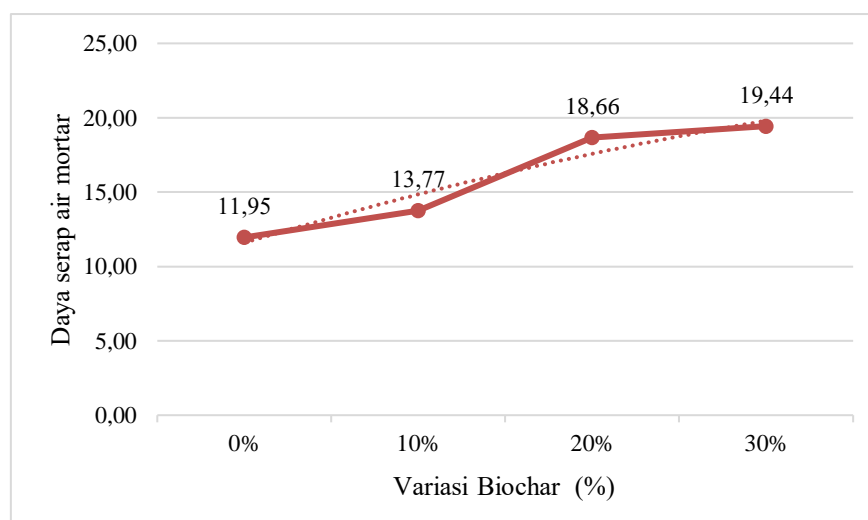
Catatan pengamatan fisik terhadap agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini berhasil memenuhi prasyarat Standar Nasional Indonesia (SNI). Data yang dihimpun dari penilaian laboratorium disajikan secara sistematis pada **Tabel 2**.

Tabel 1. Rekapitulasi Hasil Pengujian Sifat Fisik Agregat Halus

No.	Karakteristik Agregat	Interval Standar	Nilai Pengamatan	Status
1	Kadar Lumpur	Maks 5%	4,66%	Memenuhi
2	Kadar Zat Pengotor Organik	< Warna No. 3	No. 2	Memenuhi
3	Kadar Air	2% - 5%	3,85%	Memenuhi
4	Modulus Kehalusan	1,50 - 3,80	2,65	Memenuhi
5	Penyerapan Air (Absorpsi)	0,2% - 2%	1,79%	Memenuhi

3.2 Perilaku Penyerapan Air

Pengujian daya serap air dilakukan pada umur perawatan benda uji 28 hari dengan membandingkan rasio berat mortar kondisi jenuh kering permukaan SSD dan berat mortar kondisi kering oven. Pengujian mengacu pada metode SNI yang menggunakan prinsip penentuan penyerapan air berdasarkan selisih berat benda uji pada kondisi SSD dan kondisi kering oven. Sebelum pengujian, benda uji direndam selama 24 jam hingga mencapai kondisi jenuh, kemudian permukaan benda uji dikeringkan hingga tidak terdapat air bebas pada permukaannya dan ditimbang sebagai berat SSD. Selanjutnya benda uji dikeringkan dalam oven pada suhu 90°C selama 24 jam hingga mencapai berat konstan, kemudian ditimbang sebagai berat kering oven. Nilai daya serap air dihitung menggunakan persamaan: dalam **Gambar 1** di bawah ini:



Gambar 1. Rekapitulasi Pengaruh Daya Serap Air Pada Mortar

Berdasarkan data eksperimen pada **Gambar 1**, terlihat jelas adanya tren kenaikan nilai daya serap air yang linear seiring dengan meningkatnya persentase substitusi biochar dalam campuran mortar. Mortar konvensional tanpa biochar (0%) mencatat nilai serap air terendah sebesar 11,95%. Nilai ini melonjak

secara bertahap hingga menyentuh angka 13,77% pada variasi biochar 10%, 18,66% pada variasi 20%, dan puncaknya mencapai 19,44% pada variasi substitusi biochar 30%. Secara analitis, fenomena fisik ini dipicu oleh karakteristik mikrostruktural dari biochar itu sendiri. Proses pirolisis pada biomassa organik menghasilkan material padat dengan struktur internal yang sangat porous, yang didominasi oleh jaringan mikropori dan mesopori dengan luas permukaan spesifik yang luar biasa besar. Sifat porous dan hidrofilik alami dari partikel arang hayati ini bertindak layaknya spons internal di dalam matriks mortar yang menarik dan memerangkap air melalui gaya kapiler kapiler pembuluh terbuka. Ketika fraksi volume pasir (yang bersifat padat, masif, dan impermeabel) digantikan secara parsial oleh partikel biochar, volume pori kapiler terbuka yang saling terhubung di dalam mortar ikut meningkat. Meskipun peningkatan daya serap air yang terlalu tinggi berisiko menurunkan durabilitas jangka panjang mortar terhadap penetrasi senyawa kimia agresif, penambahan biochar pada batas optimal 10% terbukti hanya memberikan pengaruh kenaikan absorpsi air yang relatif kecil dan terkendali, sehingga masih aman diaplikasikan dalam elemen bangunan.

3.3 Perkembangan Kuat Tekan

Proses pengujian kuat tekan dilakukan menggunakan Universal Testing Machine (UTM) untuk mengevaluasi kemampuan mortar dalam menahan beban tekan pada berbagai umur perawatan. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui perkembangan kekuatan mortar seiring bertambahnya umur hidrasi serta untuk menganalisis pengaruh variasi kadar biochar terhadap sifat mekanik mortar. Benda uji diuji pada tiga umur perawatan yang berbeda, yaitu 7 hari, 14 hari, dan 28 hari, sehingga dapat diamati tren peningkatan atau penurunan kuat tekan yang terjadi selama proses pengerasan. Nilai kuat tekan diperoleh dari perbandingan antara beban maksimum yang mampu ditahan benda uji dengan luas penampang benda uji sesuai prosedur pengujian yang berlaku. Dataset pengujian kuat tekan secara lengkap disajikan **Tabel 3**.

Tabel 2. Matriks Perkembangan Kuat Tekan Mortar (MPa)

Variasi Biochar	7 Hari	14 Hari	28 Hari
0% Biochar	12,667	14,000	16,000
10% Biochar	11,333	13,333	15,333
20% Biochar	8,000	8,667	11,333
30% Biochar	6,000	7,333	8,000

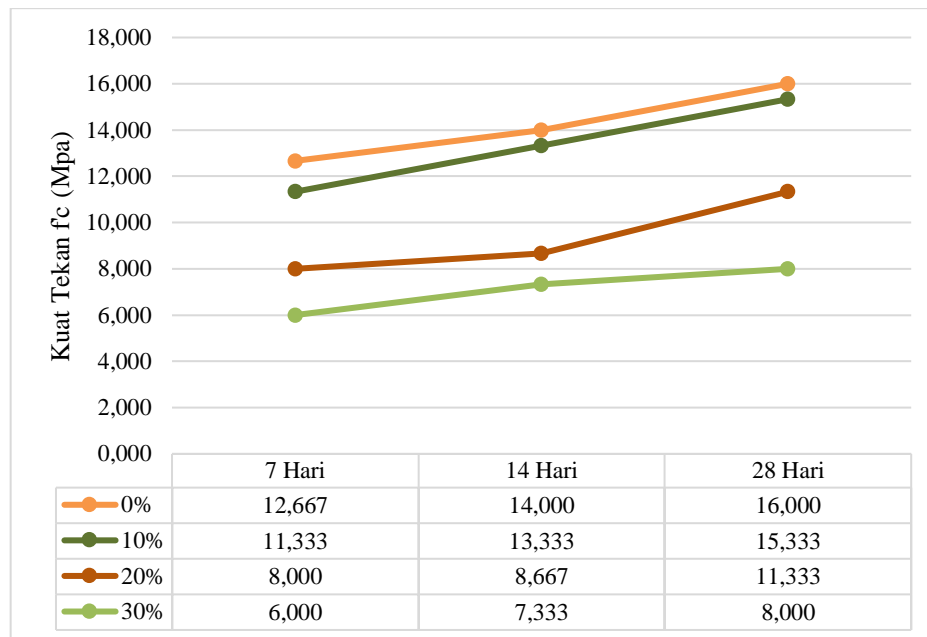
Semua variasi eksperimental menunjukkan peningkatan kekuatan progresif seiring bertambahnya waktu perawatan dari 7 hari ke 28 hari, memastikan bahwa proses hidrasi matriks semen berfungsi dengan baik dari waktu ke waktu. Sebagai contoh, mortar kontrol meningkat dari 12,667 MPa pada 7 hari menjadi 16,000 MPa pada 28 hari (peningkatan sebesar 26,31%). Demikian pula, campuran biochar 10% mengalami kenaikan kekuatan sebesar 35,30% di sepanjang linimasa perawatan, maju dari 11,333 MPa menjadi 15,333 MPa. Meskipun demikian, performa tekan absolut menurun seiring dengan peningkatan persentase biochar. Pada umur 28 hari, variasi 10% hanya turun sedikit sebesar 4,17% dari kontrol (menghasilkan nilai 15,333 MPa yang andal). Sebaliknya, kelompok 20% dan 30% mengalami penurunan yang parah, masing-masing merosot sebesar 29,17% dan 50,00% dibandingkan dengan baseline kontrol. Perilaku ini disebabkan oleh sifat biochar yang sangat berpori, yang menurunkan kepadatan internal kerangka pasta semen dan melemahkan ikatan penguncian mekanis antar partikel agregat.

Pengaruh Waktu Perawatan (Curing Age): Seluruh variasi mortar, baik normal maupun modifikasi biochar, mengalami grafik kenaikan kuat tekan yang konsisten dari umur 7 hari menuju 14 hari hingga mencapai kekuatan maksimum pada umur 28 hari. Pola ini menegaskan bahwa penambahan biochar tidak menghentikan proses hidrasi semen Portland komposit (PCC) yang digunakan. Reaksi semen dengan air terus membentuk fasa kalsium silikat hidrat (C-S-H) gel yang secara bertahap mengisi ruang kosong kapiler mortar, meningkatkan densitas internal, dan mengerasakan struktur komposit seiring berjalannya waktu.

Pengaruh Substitusi Biochar: Terjadi korelasi negatif yang signifikan antara persentase substitusi pasir dengan kekuatan tekan mortar. Pada umur puncak 28 hari, mortar normal menghasilkan kuat tekan tertinggi sebesar 16,000 MPa. Pada substitusi biochar 10%, kuat tekan mortar sedikit menurun menjadi 15,333 MPa (hanya berkurang 4,17%).

Namun, degradasi kekuatan tekan jatuh sangat drastis pada variasi biochar 20% (11,333 MPa) dan variasi 30% (8,000 MPa), yang masing-masing kehilangan kekuatan sebesar 29,17% dan 50,00% dibandingkan mortar normal. Penurunan kuat tekan yang tajam pada kadar biochar tinggi (20% dan 30%) dikaji melalui mekanisme mikrostruktural material konstruksi. Pertama, penggantian pasir sungai yang memiliki modulus elastisitas tinggi serta karakter fisik padat keras, dengan partikel biochar yang memiliki

kekuatan bawaan (intrinsik) yang rendah dan rapuh (brittle), secara langsung mengurangi kekuatan rangka struktural internal mortar di bawah tekanan mekanis eksternal.



Gambar 2. Rekaputalasi Kuat Tekan Mortar(Mpa)

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, penggunaan biochar sebagai substitusi parsial pasir memberikan pengaruh yang signifikan terhadap sifat mekanik dan karakteristik fisik mortar ramah lingkungan. Pada umur pengujian 28 hari, mortar normal (tanpa biochar) menghasilkan kuat tekan tertinggi sebesar 16,000 MPa. Sementara itu, penambahan biochar sebesar 10% masih mampu mempertahankan kuat tekan yang relatif tinggi, yaitu 15,333 MPa, sehingga nilainya mendekati mortar normal. Namun, peningkatan kadar biochar menjadi 20% dan 30% menyebabkan penurunan kuat tekan yang cukup besar, masing-masing sebesar 29,17% dan 50,00% dibandingkan mortar normal. Penurunan kekuatan ini terjadi karena biochar memiliki struktur berpori yang tinggi sehingga dapat meningkatkan jumlah rongga dalam mortar dan mengurangi kepadatan matriks, yang pada akhirnya menurunkan kemampuan mortar dalam menahan beban tekan. Selain memengaruhi kuat tekan, penambahan biochar juga meningkatkan nilai penyerapan air mortar. Mortar normal memiliki nilai penyerapan air rata-rata sebesar 11,95%, sedangkan pada variasi biochar 10%, 20%, dan 30% nilai tersebut meningkat menjadi masing-masing 13,77%, 18,66%, dan 19,44%. Peningkatan daya serap air ini disebabkan oleh sifat biochar yang memiliki banyak pori dan luas permukaan yang tinggi, sehingga mampu menyerap dan menahan lebih banyak air dibandingkan pasir.

Secara keseluruhan, penggunaan biochar sebesar 10% merupakan variasi yang paling optimal karena masih mampu menghasilkan mortar yang lebih ramah lingkungan dengan kinerja mekanik yang mendekati mortar konvensional. Selain itu, peningkatan penyerapan air yang terjadi pada variasi ini masih berada dalam batas yang dapat diterima, sehingga keseimbangan antara aspek keberlanjutan dan performa material tetap dapat dipertahankan.

5. Referensi

- [1] M. Stefanidou and P. Koltsoy, "The Role of Sand in Mortar's Properties," in *Sand in Construction*, IntechOpen, 2022. doi: 10.5772/intechopen.102489.
- [2] S. Sakir, S. N. Raman, M. Safiuddin, A. B. M. A. Kaish, and A. A. Mutalib, "Utilization of By-Products and Wastes as Supplementary Cementitious Materials in Structural Mortar for Sustainable Construction," *Sustainability*, vol. 12, no. 9, p. 3888, May 2020, doi: 10.3390/su12093888.
- [3] M. Raghav, T. Park, H.-M. Yang, S.-Y. Lee, S. Karthick, and H.-S. Lee, "Review of the Effects of Supplementary Cementitious Materials and Chemical Additives on the Physical, Mechanical and Durability Properties of Hydraulic Concrete," *Materials (Basel)*, vol. 14, no. 23, p. 7270, Nov. 2021, doi: 10.3390/ma14237270.
- [4] H. Maljaee, H. Paiva, R. Madadi, L. A. C. Tarelho, M. Morais, and V. M. Ferreira, "Effect of cement partial substitution by waste-based biochar in mortars properties," *Constr. Build. Mater.*, vol. 301, 20213

- p. 124074, Sep. 2021, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2021.124074.
- [5] M. S. Nasr, A. A. Shubbar, Z. A.-A. R. Abed, and M. S. Ibrahim, "Properties of eco-friendly cement mortar contained recycled materials from different sources," *J. Build. Eng.*, vol. 31, p. 101444, Sep. 2020, doi: 10.1016/j.jobbe.2020.101444.
- [6] H. Singh, B. K. Northup, C. W. Rice, and P. V. V. Prasad, "Biochar applications influence soil physical and chemical properties, microbial diversity, and crop productivity: a meta-analysis," *Biochar*, vol. 4, no. 1, pp. 1–17, 2022, doi: 10.1007/s42773-022-00138-1.
- [7] W. Qadir, K. Ghafor, and A. Mohammed, "Characterizing and Modeling the Mechanical Properties of the Cement Mortar Modified with Fly Ash for Various Water-to-Cement Ratios and Curing Times," *Adv. Civ. Eng.*, vol. 2019, no. 1, Jan. 2019, doi: 10.1155/2019/7013908.
- [8] M. Caroselli, S. A. Ruffolo, and F. Piqué, "Mortars and plasters—how to manage mortars and plasters conservation," *Archaeol. Anthropol. Sci.*, vol. 13, no. 11, 2021, doi: 10.1007/s12520-021-01409-x.
- [9] O. Corbu and I.-O. Toma, "Progress in Sustainability and Durability of Concrete and Mortar Composites," *Coatings*, vol. 12, no. 7, p. 1024, Jul. 2022, doi: 10.3390/coatings12071024.
- [10] E. A. Ohemeng and A. Naghizadeh, "Alternative cleaner production of masonry mortar from fly ash and waste concrete powder," *Constr. Build. Mater.*, vol. 374, p. 130859, Apr. 2023, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2023.130859.
- [11] A. Soamole, M. A. Sultan, and A. Tata, "Efek Pemanasan Terhadap Kuat Tekan Mortar Semen Dengan Penambahan Fly Ash," *J. Rekayasa Konstr. Mek. Sipil*, pp. 1–10, Jun. 2022, doi: 10.54367/jrkms.v5i1.1677.
- [12] Z. Xiong *et al.*, "Analysis of mechanical properties of rubberised mortar and influence of styrene–butadiene latex on interfacial behaviour of rubber–cement matrix," *Constr. Build. Mater.*, vol. 300, p. 124027, Sep. 2021, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2021.124027.
- [13] C. Yuan, Y. Cai, Q. Gu, and D. Sang, "Research on Modified High-Performance Cement Mortar of Prefabricated Buildings Based on Orthogonal Test," *Int. J. Concr. Struct. Mater.*, vol. 16, no. 1, 2022, doi: 10.1186/s40069-022-00534-8.
- [14] ASTM C 642 - 90, "Standar Test Method for Specific Gravity, Absorption, and Voids in Hardened Concrete," 1990.
- [15] Huerta, E., et al. "Universal testing machine for mechanical properties of thin materials." *Revista mexicana de física* 56.4 (2010): 317-322.