

Pengaruh Penambahan Biochar Terhadap Kinerja Beton *Self Compacting Concrete*

Muh. Jabir M*, Adnan, M. Alfi A, Abd. Muis B

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Parepare, Sulawesi Selatan

*Koresponden email: jabirdiah@gmail.com

Diterima: 17 Juni 2026

Disetujui: 26 Juni 2026

Abstract

Biochar was utilized as an additive material in concrete mixtures with variations of 0%, 5%, 10%, and 20% as a partial replacement of fine aggregate. This study was conducted at the Structural and Materials Laboratory of the Civil Engineering Study Program, Universitas Muhammadiyah Parepare, using cylindrical specimens measuring 15 cm × 30 cm. The tests performed included the slump test, compressive strength test at 7, 14, and 28 days, and water absorption test in accordance with SNI 03-2914-1992. The results indicated that the incorporation of biochar affected the properties of SCC concrete. The slump value decreased from 86.7 mm for normal concrete to 81.7 mm, 78.3 mm, and 75.0 mm for biochar contents of 5%, 10%, and 20%, respectively. Similarly, the 28-day compressive strength declined from 21.703 MPa for normal concrete to 18.495 MPa, 17.929 MPa, and 13.399 MPa. In contrast, water absorption increased from 1.04% in normal concrete to 1.23%, 1.44%, and 1.79% with increasing biochar content. Therefore, the addition of biochar tends to reduce the workability and compressive strength of SCC concrete while increasing its water absorption capacity.

Keywords: *biochar, compressive strength, water absorption*

Abstrak

Biochar digunakan sebagai bahan tambah dalam campuran beton dengan variasi 0%, 5%, 10%, dan 20% terhadap agregat halus. Penelitian dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Parepare menggunakan benda uji silinder berukuran 15 cm × 30 cm. Pengujian meliputi slump test, kuat tekan pada umur 7, 14, dan 28 hari, serta absorpsi air berdasarkan SNI 03-2914-1992. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan biochar memengaruhi sifat beton SCC. Nilai slump menurun dari 86,7 mm pada beton normal menjadi 81,7 mm, 78,3 mm, dan 75 mm pada variasi biochar 5%, 10%, dan 20%. Kuat tekan beton umur 28 hari juga mengalami penurunan dari 21,703 MPa menjadi 18,495 MPa, 17,929 MPa, dan 13,399 MPa. Sebaliknya, nilai absorpsi air meningkat dari 1,04% pada beton normal menjadi 1,23%, 1,44%, dan 1,79%. Dengan demikian, penambahan biochar cenderung menurunkan workability dan kuat tekan beton SCC, tetapi meningkatkan absorpsi air beton.

Kata Kunci: *biochar, kuat tekan, daya serap air*

1. Pendahuluan

Beton silinder merupakan benda uji yang umum digunakan dalam pengujian kuat tekan beton untuk mengetahui mutu dan kemampuan beton dalam menahan beban tekan sesuai perencanaan struktur. Benda uji silinder biasanya berukuran 15 cm × 30 cm dan diuji menggunakan mesin tekan hingga beton mengalami keruntuhan. Hasil pengujian kuat tekan beton silinder menjadi parameter utama dalam menentukan kualitas beton karena dipengaruhi oleh komposisi campuran, faktor air semen, proses pencampuran, perawatan (curing), dan umur beton [1]. Beton silinder digunakan sebagai benda uji kuat tekan untuk mengetahui apakah mutu beton telah memenuhi standar dan mampu menahan beban sesuai perencanaan struktur. Pengujian ini menjadi parameter utama dalam menilai kinerja beton sehingga mutu beton harus dikontrol sejak proses perencanaan campuran hingga pengerasan beton.

Oleh karena itu, mutu beton silinder harus dikontrol dengan baik sejak tahap perencanaan campuran hingga proses pengerasan beton [2]. Beton hingga saat ini masih menjadi material konstruksi yang paling banyak digunakan dalam pembangunan gedung, jalan, jembatan, dan infrastruktur lainnya karena memiliki kekuatan tekan tinggi, mudah dibentuk, serta bahan penyusunnya mudah diperoleh. Namun, penggunaan beton secara terus-menerus juga memberikan dampak terhadap lingkungan, terutama akibat tingginya penggunaan semen dan agregat alam seperti pasir dan kerikil [3]. Eksploitasi pasir alam yang berlebihan dapat menyebabkan kerusakan lingkungan seperti erosi sungai, penurunan kualitas ekosistem, serta berkurangnya sumber daya alam yang tersedia. Oleh karena itu, berbagai penelitian mulai dikembangkan

untuk mencari material alternatif yang lebih ramah lingkungan sebagai bahan tambah maupun pengganti sebagian material penyusun beton [4].

Penggunaan biochar sebagai bahan tambahan beton merupakan salah satu upaya untuk mengurangi dampak lingkungan. Biochar adalah material karbon hasil pirolisis biomassa yang mampu menyimpan karbon dalam jangka panjang sehingga dapat menurunkan jejak karbon beton. Selain mendukung konstruksi berkelanjutan, pemanfaatan biochar juga membantu pengelolaan limbah biomassa [5]. Biochar dihasilkan melalui proses pembakaran terbatas atau pirolisis limbah organik seperti limbah kayu, sekam padi, tempurung kelapa, serbuk gergaji, dan biomassa lainnya dalam kondisi oksigen terbatas. Proses tersebut menghasilkan material berwarna hitam yang memiliki kandungan karbon tinggi serta struktur pori yang kompleks. Karakteristik tersebut membuat biochar memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan dalam bidang konstruksi, khususnya sebagai bahan tambah pada campuran beton [6]. Industri beton penggunaan pasir alam pada campuran beton menyebabkan kerusakan lingkungan dan berkurangnya sumber daya alam akibat eksploitasi pasir secara berlebihan. Oleh karena itu, peneliti mencoba memanfaatkan biochar sebagai bahan pengganti sebagian pasir pada beton untuk menciptakan material konstruksi yang lebih ramah lingkungan [7].

Penggunaan biochar sebagai pengganti sebagian agregat halus diharapkan mampu mengurangi kebutuhan pasir alam sekaligus meningkatkan kualitas beton melalui perbaikan mikrostruktur campuran beton. Biochar dapat dimanfaatkan sebagai bahan tambah atau pengganti sebagian agregat halus karena memiliki struktur berpori dan kandungan karbon tinggi yang mampu memperbaiki mikrostruktur beton. Struktur pori pada biochar memungkinkan material ini menyerap dan menyimpan air dalam campuran beton, kemudian melepaskannya secara perlahan selama proses hidrasi semen berlangsung. Kondisi tersebut membantu proses internal curing pada beton sehingga hidrasi semen dapat berlangsung lebih optimal [8], [9].

Penambahan biochar dalam jumlah kecil diketahui dapat meningkatkan kemampuan ikatan, mengurangi penyerapan air berlebih, serta meningkatkan kuat tekan dan durabilitas beton. Hal ini terjadi karena partikel biochar mampu memperbaiki struktur mikro beton dan mengurangi terbentuknya rongga di dalam campuran. Selain itu, kemampuan biochar dalam menyerap dan menyimpan air membantu menjaga kelembapan beton selama proses pengerasan sehingga dapat mengurangi risiko retak susut pada beton [10]. Penggunaan biochar dengan kadar terlalu tinggi dapat menurunkan workability dan menyebabkan penurunan kekuatan beton. Hal ini disebabkan oleh kemampuan serap air biochar yang cukup tinggi sehingga campuran beton menjadi lebih kaku dan membutuhkan air lebih banyak untuk mempertahankan tingkat kelecakan beton [11]. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lebih lanjut untuk menentukan kadar optimum penggunaan biochar agar diperoleh beton dengan performa terbaik.

Self Compacting Concrete (SCC) merupakan inovasi beton modern yang memiliki kemampuan mengalir dan memadat sendiri, sehingga sangat efektif digunakan pada struktur dengan tulangan rapat dan bentuk bekisting yang kompleks. Penggunaan SCC mampu meningkatkan kualitas pengecoran, mempercepat pekerjaan konstruksi, serta menghasilkan beton yang lebih homogen [12]. Dalam penggunaannya, SCC membutuhkan material halus dalam jumlah cukup besar untuk menjaga stabilitas campuran dan mencegah segregasi. Oleh karena itu, penggunaan biochar sebagai bahan tambah pada SCC menjadi menarik untuk diteliti karena biochar memiliki ukuran partikel halus dan sifat menyerap air yang dapat mempengaruhi karakteristik aliran beton. Penambahan biochar pada beton Self Compacting Concrete (SCC) penting dilakukan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kuat tekan dan workability beton [13], [14]. Pada penelitian ini dilakukan pengkajian mengenai penggunaan biochar sebagai bahan tambah pasir pada campuran beton.

Penelitian difokuskan pada pengaruh penambahan biochar terhadap karakteristik beton, seperti kuat tekan dan sifat beton lainnya. Metode penelitian yang digunakan adalah metode kuantitatif melalui pengujian laboratorium untuk memperoleh data numerik yang kemudian dianalisis guna mengetahui pengaruh variasi penambahan biochar terhadap kinerja beton. Pengujian dilakukan terhadap beton segar maupun beton keras untuk mengetahui perubahan karakteristik akibat penambahan biochar pada campuran beton [15].

2. Metode Penelitian

Tempat Dan Waktu Penelitian

Aktivitas penelitian ini diselenggarakan di Laboratorium Struktur dan Bahan Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Parepare yang berlokasi di Jl. Jend. Ahmad Yani Km. 6, Kelurahan Bukit Harapan, Kecamatan Soreang, Kota Parepare. Durasi penelitian ini sampai dengan penyusunan tugas akhir

di selenggarakan selama 2 (Dua) bulan, proses penelitian ini dilaksanakan mulai dari bulan Januari-Maret 2026.

Bahan

Limbah biomassa yang digunakan dalam penelitian ini berupa biochar arang yang berasal dari limbah kayu di Kabupaten Pinrang. Biochar tersebut digunakan sebagai bahan tambah sebagian agregat halus (pasir) pada campuran beton dalam pembuatan benda uji. Agregat kasar yang digunakan berasal dari Sungai Saddang Pinrang, sedangkan agregat halus diperoleh dari Sungai Lasape Pinrang. Selain itu, air yang digunakan untuk proses pencampuran dan perendaman benda uji berasal dari Laboratorium Struktur dan Bahan Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Parepare. Pemilihan material lokal ini dilakukan untuk memanfaatkan sumber daya yang tersedia di daerah setempat serta mendukung penelitian beton yang lebih ekonomis dan mudah diterapkan.

Perencanaan Dan Pembuatan Benda Uji

Metode penelitian yang digunakan pada pembuatan benda uji beton silinder adalah metode eksperimen laboratorium dengan menggunakan variasi penambahan biochar sebagai bahan tambah agregat halus. Benda uji yang digunakan berupa beton silinder berukuran 15 cm × 30 cm. Campuran beton dibuat dalam empat variasi, yaitu beton normal, serta beton dengan variasi sebesar 5%, 10%, dan 20% dari berat agregat halus. Material yang digunakan terdiri dari semen, agregat kasar, agregat halus, air, dan biochar.

Metode penelitian yang digunakan pada pembuatan benda uji beton silinder adalah metode eksperimen laboratorium dengan menggunakan variasi penambahan biochar sebagai bahan tambah agregat halus. Benda uji yang digunakan berupa beton silinder berukuran 15 cm × 30 cm. Campuran beton dibuat dalam empat variasi, yaitu beton normal tanpa biochar (0%), serta beton dengan penambahan biochar sebesar 5%, 10%, dan 20% dari berat agregat halus. Material yang digunakan terdiri dari semen, agregat kasar, agregat halus, air, dan biochar arang dari limbah kayu.

Proses pembuatan beton diawali dengan menyiapkan seluruh material sesuai kebutuhan campuran. Agregat halus, agregat kasar, semen, dan biochar ditimbang terlebih dahulu sesuai variasi yang telah ditentukan. Setelah itu, material kering dicampur hingga merata, kemudian ditambahkan air sedikit demi sedikit sambil dilakukan pengadukan sampai campuran beton menjadi homogen. Setelah campuran tercampur sempurna, dilakukan pengujian beton segar untuk mengetahui workability beton.

Selanjutnya, campuran beton dimasukkan ke dalam cetakan silinder berukuran 15 cm × 30 cm secara bertahap hingga penuh. Permukaan beton kemudian diratakan dan benda uji dидiamkan selama 24 jam hingga beton mulai mengeras. Setelah cetakan dibuka, benda uji direndam dalam bak curing yang berisi air untuk menjaga kelembapan beton selama proses hidrasi semen berlangsung. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur beton 7 hari, 14 hari, dan 28 hari menggunakan mesin uji tekan. Hasil pengujian kemudian dianalisis untuk mengetahui pengaruh penambahan biochar terhadap kuat tekan beton pada setiap variasi campuran.

Tabel 1. Jumlah Perkiraan Benda Uji Kuat Tekan

Jenis Sampel	Kuat tekan		
	7	14	28
Beton normal	3	3	3
Beton dengan campuran biochar 5%	3	3	3
Beton dengan campuran biochar 10%	3	3	3
Beton dengan campuran biochar 20%	3	3	3
Total	36		

Sumber: Hasil uji labolatorium (2026)

Pengujian Penyerapan

Pengujian daya serap air dilakukan berdasarkan Standar Nasional Indonesia. Pengujian ini dilakukan untuk menilai tingkat penyerapan air pada beton yang berhubungan langsung dengan tingkat porositas dan daya tahan beton terhadap cuaca maupun zat kimia. Mengacu pada SNI 03-2914-1992, sampel terlebih dahulu direndam dalam air hingga mencapai usia 28 hari, kemudian ditimbang dalam kondisi basah. Setelah itu, sampel dikeringkan selama 2 hari dan ditimbang kembali untuk mendapatkan berat kering.



Gambar 1. Pengujian Daya Serap Pada Beton

Nilai Slump Test

Pengujian nilai Slump test dilakukan dengan menggunakan kerucut Abrams, dengan membasahi kerucut Abrams terlebih dahulu kemudian menempatkannya ditempat yang rata. Kemudian diisi dengan beton segar sebanyak 3 lapis, setiap lapisan diisi 1/3 dari volume kerucut Abrams dan ditusuk sebanyak 25 kali dan penusukan dilakukan hingga mencapai bagian bawah dari setiap lapisan setelah pengisian kerucut selesai bagian atasnya diratakan. Dalam waktu sekitar 30 detik kerucut diangkat lurus vertikal secara perlahan, kemudian tentukan nilai slump dengan cara mengukur tinggi campuran selisih dengan tinggi kerucut.



Gambar 2. Pemeriksaan Nilai Slump Test

Pengujian kuat tekan

Setelah melakukan pembuatan dan perawatan benda uji, selanjutnya di lakukan pengujian kuat tekan yang dimana menggunakan cara perhitungan persamaan matematis menurut SNI 1974-2011. Pengujian kuat tekan dilakukan pada saat benda uji berumur 7, 14 dan 28 hari dengan sebanyak 36 sampel yang terdiri dari 4 variasi campuran yaitu beton normal, variasi 5%, variasi 10% dan variasi 20% dari bahan tambah biochar. Untuk masing-masing variasi campuran dibuat 3 sampel untuk kuat tekan silinder dengan ukuran benda uji 15 x 30 cm. Sebelum melakukan uji kuat tekan beton maka terlebih dahulu melakukan penimbangan benda uji untuk setiap variasi yang akan dijadikan sampel uji.

Untuk menghitung besarnya kuat tekan dipergunakan persamaan matematis sebagai berikut :

a. Pengujian kuat tekan beton SNI 1974-2011

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

Ket :

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

P = Beban Maksimum (N)

A = Luas Penampang (mm^2)



Gambar 3. Proses Pengujian Kuat Tekan Beton

3. Hasil dan Pembahasan

Perencanaan campuran beton

Perancangan adukan beton (mix design) dihitung secara matematis menggunakan pendekatan SNI 03-2834-2000. Penambahan biochar diaplikasikan sebagai penambahan agregat halus berdasarkan variasi yang ditetapkan. Adapun campuran yang ditentukan yaitu beton normal, variasi 5%, variasi 10%, dan variasi 20%. Total kebutuhan volume material riil yang dihitung untuk pembuatan 3 unit spesimen silinder per variasi disajikan secara detail pada **Tabel 2** berikut:

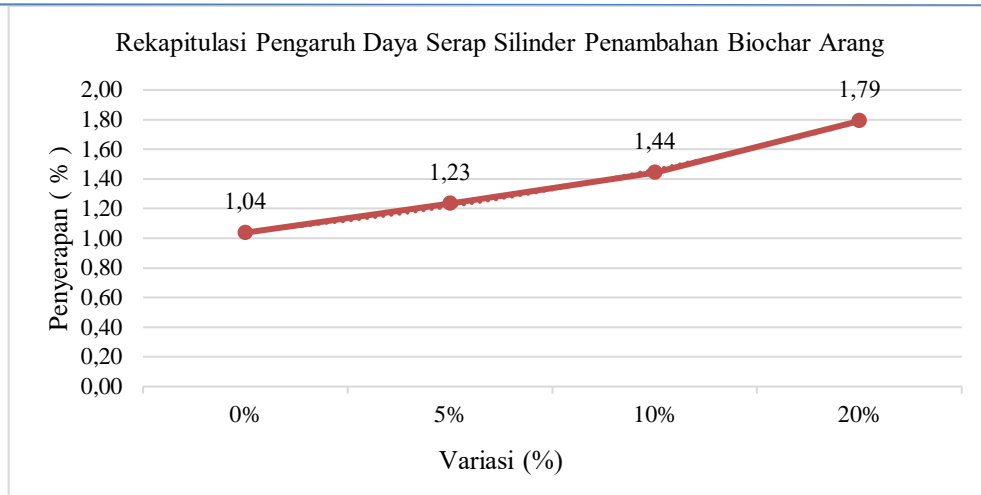
Tabel 2. Rekapitulasi Kebutuhan Bahan Campuran Beton Untuk 3 Sampel Silinder Beton

Campuran Beton	W Semen	W Pasir	W Arang	W Air
Beton Normal	7,79 Kg	11,41 Kg	0	3,71 Kg
Variasi 5%	7,79 Kg	11,41 Kg	0,37 Kg	3,71 Kg
Variasi 10%	7,79 Kg	11,41 Kg	0,74 Kg	3,71 Kg
Variasi 20%	7,79 Kg	11,41 Kg	1,49 Kg	3,71 Kg

Sumber: Hasil uji laboratorium (2026)

Hasil Pengujian Penyerapan

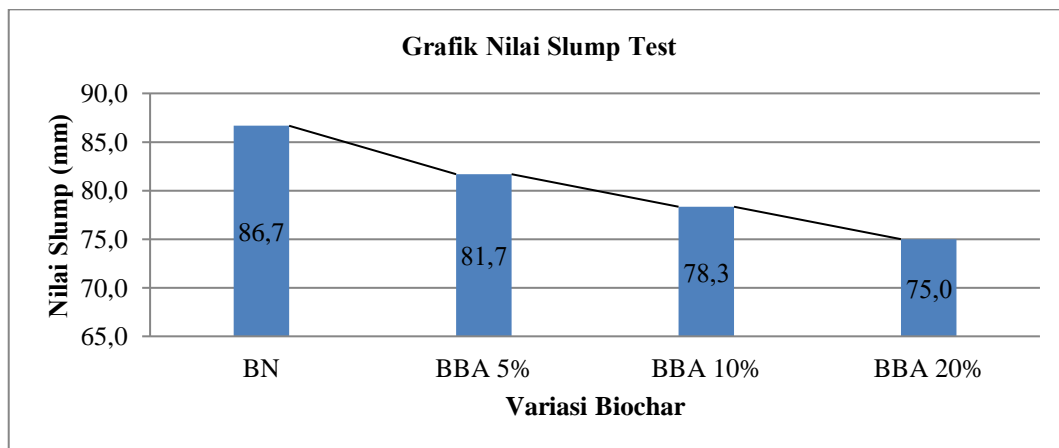
Berdasarkan grafik dapat dilihat kenaikan daya serapan air pada setiap benda uji yang telah berumur 28 hari, dimulai dengan normal yang menunjukkan nilai penyerapan air sebesar 1,04%, dilanjutkan variasi biochar arang 5% dengan penyerapan air sebesar 1,23%, dilanjutkan lagi dengan variasi biochar arang 10% dengan nilai penyerapan air sebesar 1,44% dan terakhir variasi biochar arang 20% dengan nilai penyerapan air sebesar 1,79%. Dari beton normal sampai dengan variasi biochar arang terhadap pasir menunjukkan nilai kenaikannya penyerapan air sebesar 0,99772% pada benda uji usia 28 hari. Hal ini terjadi karena semakin banyak penambahan biochar arang membuat daya serapan airnya semakin naik. Hasil tersebut dapat ditunjukkan pada **Gambar 4** Grafik Pengujian Daya Serap Air beton silinder sebagai berikut :



Gambar 4. Grafik Pengujian Daya Serap Air Beton Silinder

Hasil Pengujian Slump Test

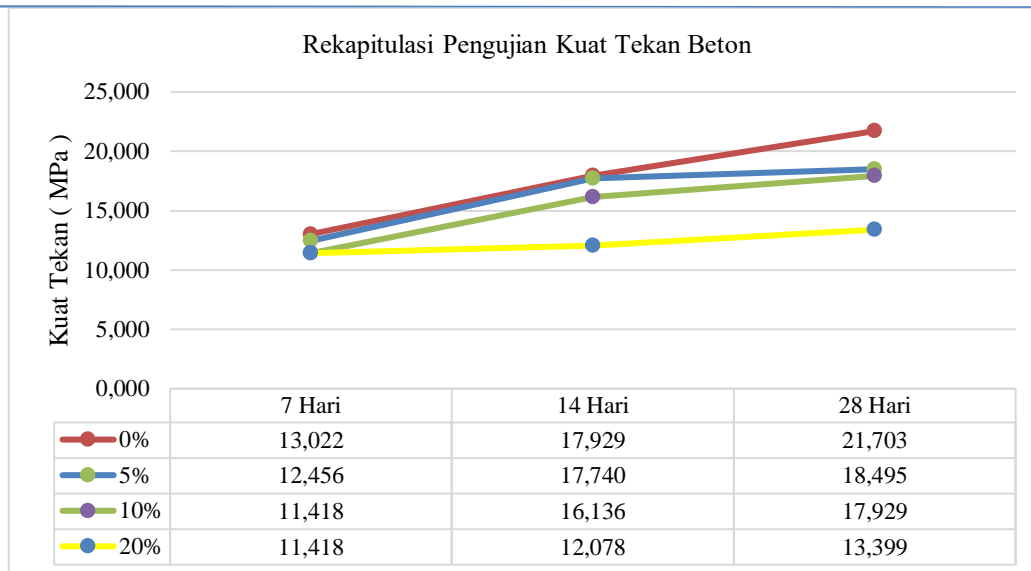
Berdasarkan hasil pengujian slump test dimana pada beton normal didapatkan nilai Slump test 86,7, didapatkan nilai slump, untuk variasi 5% sebesar 81,7 mm, untuk variasi 10% sebesar 78,3 mm dan variasi 20% sebesar 75 mm. Nilai slump cenderung mengalami penurunan seiring dengan penambahan biochar arang. Maka dapat disimpulkan bahwa beton yang telah dicampur dapat digunakan karena tidak melewati batas maksimal nilai slump yaitu 100 mm. Adapun data hasil pengujian slump rest disajikan sebagai berikut :



Gambar 5. Grafik Pengujian Slump Test

Hasil Pengujian Kuat Tekan

Rekapitulasi hasil pengujian kuat tekan beton pada umur 7, 14, dan 28 hari untuk setiap variasi penambahan biochar dapat dilihat pada grafik berikut. Grafik tersebut menunjukkan perubahan nilai kuat tekan yang dipengaruhi oleh kadar biochar dalam campuran beton. Pada grafik ini disimpulkan berat beton pada umur beton 7 hari di normal sebesar 13,022 Kg, variasi biochar 5 % sebesar 12,456 Kg, variasi biochar 10% sebesar 11,418 Kg, variasi biochar 20% sebesar 11,418 Kg. Pada umur beton 14 hari di normal di dapatkan sebesar 17,929 Kg, variasi biochar 5% sebesar 17,740 Kg, variasi biochar 10% sebesar 16,136 Kg, variasi biochar 20% sebesar 12,078 Kg. Pada umur 28 hari di normal di dapatkan sebesar 21,703 Kg, variasi 5% sebesar 18,495Kg, variasi 10% sebesar 17,929 Kg, variasi 20% sebesar 13,399 Kg.



Gambar 6. Grafik rekapitulasi pengujian kuat tekan beton

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, penambahan biochar sebesar 5%, 10%, dan 20% dalam campuran beton berpengaruh terhadap kuat tekan dan berat beton. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin tinggi persentase biochar yang digunakan, kuat tekan beton cenderung menurun pada umur 7, 14, dan 28 hari dibandingkan dengan beton normal. Penurunan ini diduga terjadi karena meningkatnya porositas dan berkurangnya kepadatan matriks beton akibat sifat biochar yang berpori. Selain itu, penambahan biochar juga menyebabkan penurunan berat beton karena biochar memiliki massa jenis yang lebih rendah dibandingkan material penyusun beton konvensional. Meskipun demikian, penggunaan biochar dalam jumlah tertentu masih berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan tambah ramah lingkungan untuk menghasilkan beton yang lebih ringan. Oleh karena itu, diperlukan penentuan kadar biochar yang optimal agar manfaat pengurangan berat beton dapat diperoleh tanpa menyebabkan penurunan kuat tekan yang terlalu besar, sehingga beton tetap memenuhi persyaratan kekuatan yang direncanakan.

5. Referensi

- [1] Y. Andika, S. Buyung, J. E. Ola, and S. P. Sorong, "Pengaruh Bentuk Benda Uji Terhadap Kuat Tekan Beton Pada Material Lokal LPPM Politeknik Saint Paul Sorong LPPM Politeknik Saint Paul Sorong," vol. 10, no. 1, pp. 32–35, 2024.
- [2] Pratiwi, Nadya Ayu, et al. "Testing the Compressive Strength of Concrete with the Addition of Coconut Shell Waste." *Sultra Civil Engineering Journal (SCiEJ)* 3.2 (2022): 61-70.
- [3] B. Z. Nurjaman, R. Roestaman, and E. Walujodjati, "Pengaruh Penggunaan Agregat Abu Batu Sebagai Pengganti Agregat Halus Alami Terhadap Sifat-Sifat Beton," *J. Konstr.*, vol. 19, no. 1, pp. 31–42, Aug. 2021, doi: 10.33364/konstruksi/v.19-1.890.
- [4] K. G. Santhosh, S. M. Subhani, and A. Bahurudeen, "Cleaner production of concrete by using industrial by-products as fine aggregate: A sustainable solution to excessive river sand mining," *J. Build. Eng.*, vol. 42, p. 102415, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102415>.
- [5] L. Wang et al., "Biochar as green additives in cement-based composites with carbon dioxide curing," *J. Clean. Prod.*, vol. 258, p. 120678, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120678>.
- [6] Putri, Rara Eka Dyla, et al. "Potential of Biomass Raw Material for Biochar Production: A Review: POTENSI Bahan Baku Biomassa Untuk Produksi Biochar: Tinjauan." *Chemical Engineering Journal Storage (CEJS)* 5.4 (2025): 528-553.
- [7] D. Wang, A. Jantwal, E. Kaynak, G. Sas, and O. Das, "Case Studies in Construction Materials Promoting internal curing in concrete by replacing sand with sustainable biochar," *Case Stud. Constr. Mater.*, vol. 22, no. March, p. e04542, 2025, doi: 10.1016/j.cscm.2025.e04542.
- [8] Ling, Yifu, et al. "Effect of biochar dosage and fineness on the mechanical properties and durability of concrete." *Materials* 16.7 (2023): 2809.
- [9] D. Wang, A. Jantwal, E. Kaynak, G. Sas, and O. Das, "Promoting internal curing in concrete by replacing sand with sustainable biochar," *Case Stud. Constr. Mater.*, vol. 22, p. e04542, Jul. 2025,

- doi: 10.1016/j.cscm.2025.e04542.
- [10] A. Aneja, R. L. Sharma, and H. Singh, "Mechanical and durability properties of biochar concrete," *Mater. Today Proc.*, vol. 65, pp. 3724–3730, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.06.371>.
- [11] Y. Zhang *et al.*, "Biochar as construction materials for achieving carbon neutrality," *Biochar*, 2022, doi: 10.1007/s42773-022-00182-x.
- [12] Miling, Clara Ratu, Jonie Tanijaya, and Desi Sandy. "Penggunaan Silika Fume dan Viscocrete Sebagai Bahan Tambah Pada Beton SCC (Self Compacting Concrete)." *Paulus Civil Engineering Journal* 6.4 (2024): 619-627.
- [13] Kandou, C., et al. "Performance evaluation of Self-Compaction Concrete (SCC) using sea sand and seawater as sustainable constituents." *UNEC Journal of Engineering and Applied Sciences* 5.2 (2025): 58.
- [14] X. Yang and X.-Y. Wang, "Hydration-strength-durability-workability of biochar-cement binary blends," *J. Build. Eng.*, vol. 42, p. 103064, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.103064>.
- [15] A. Sirico *et al.*, "Mechanical characterization of cement-based materials containing biochar from gasification," *Constr. Build. Mater.*, vol. 246, p. 118490, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118490>.