

Pengaruh Variasi Kadar Bentonit terhadap Sifat Fisik Biochar Pelet sebagai Bahan Penyangga Pupuk

*Effect of Bentonite Content on the Physical Properties of Biochar Pellets as Fertilizer
Carrier*

**Alghifari Rizqi Hastami Muhammad, Ahmad Tawfiequrrahman Yuliansyah, Agus
Prasetya**

alghifaririzqi98@mail.ugm.ac.id

Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

Info Article

| **Submitted:** 15 November 2025 | **Revised:** 30 November 2025 | **Accepted:** 30 November 2025

How to cite: Alghifari Rizqi Hastami Muhammad, etc., "Pengaruh Variasi Kadar Bentonit terhadap Sifat Fisik Biochar Pelet sebagai Bahan Penyangga Pupuk", *Proceeding National Conference Sisi Indonesia II*, 2025, P. 633-642

ABSTRACT

Biochar pellets are under research as a fertilizer support material that, upon watering, reduces the loss of nutrients by releasing them over time and when needed by plants. In this work, pellets were prepared from biochar obtained from coconut shell pyrolysis, using tapioca starch as natural binder and bentonite as additive to enhance both strength and water holding capacity. The bentonite content was varied from 5% to 30% w/w in relation to the biochar mass. The samples were prepared by mixing the materials until uniform, forming them into small cylindrical shapes, and drying them under controlled temperature and humidity. Representative physical tests include drop resistance, immersion in water, and water absorption, studying stability of structure and water-related behavior. Results showed that adding more bentonite generally improved durability and water absorption. However, when too much bentonite was used, the structure became denser, which reduced internal bonding. The optimize result appeared at 20% bentonite, giving a good balance between strength, immersion stability, and absorbency. These findings suggest that bentonite-enhanced biochar pellets could serve as a stable and eco-friendly fertilizer carrier for gradual nutrient release in soil systems.

Keyword: Biochar pellet; Bentonite; Fertilizer carrier; Physical properties; Water absorption.

ABSTRAK

Biochar pelet sedang dikembangkan sebagai media penyangga pupuk yang berfungsi mengurangi kehilangan unsur hara saat penyiraman, dengan cara melepaskannya secara bertahap sesuai kebutuhan tanaman. Pada penelitian ini, pelet dibuat dari biochar hasil pirolisis tempurung kelapa, menggunakan tapioka sebagai perekat alami dan bentonit sebagai bahan tambahan untuk meningkatkan kekuatan serta kemampuan menahan air. Kandungan bentonit divariasikan antara 5% hingga 30% dari massa biochar. Proses pembuatan dilakukan dengan mencampur bahan hingga merata, kemudian dibentuk menjadi silinder kecil dan dikeringkan pada suhu serta kelembapan yang terkontrol. Pelet yang dihasilkan diuji melalui beberapa pengujian fisik, antara lain uji ketahanan jatuh, perendaman dalam air, dan uji penyerapan air, untuk menilai kestabilan struktur serta interaksinya dengan air. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan kadar bentonit umumnya memperkuat struktur pelet dan meningkatkan kemampuan menyerap air. Namun, pada kadar bentonit yang terlalu tinggi, struktur menjadi lebih rapat sehingga ikatan antarpartikel melemah. Komposisi bentonit sebesar 20% memberikan hasil paling optimal, dengan keseimbangan antara kekuatan, ketahanan dalam air, dan kemampuan penyerapan. Secara keseluruhan, biochar pelet dengan penambahan bentonit berpotensi menjadi bahan penyangga pupuk yang stabil, ramah lingkungan, dan efektif untuk pelepasan hara secara bertahap di tanah pertanian.

Kata Kunci: Biochar pelet; Bentonit; Media penyangga pupuk; Sifat fisik; Daya serap air



This work is licensed under [CC BY-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)



Pendahuluan

Efisiensi pada pemupukan lahan pertanian di Indonesia masih memiliki efisiensi yang rendah karena banyak unsur hara yang hilang pada saat proses pencucian (leaching), khususnya nitrogen (N) dan volatilisasi urea menjadi ammonia (NH_3). Fenomena ini banyak terjadi pada daerah tropis dengan curah hujan tinggi, kandungan bahan organik rendah, dan tekstur tanah berpasir. Kondisi tersebut menyebabkan efisiensi pemanfaatan nitrogen sering kali berada di bawah 40%. sehingga menyebabkan meningkatnya biaya produksi sekaligus berisiko mencemari air tanah dan air permukaan akibat pelepasan zat tersebut. Strategi penanggulangan yang banyak dikembangkan adalah penggunaan biochar sebagai penyangga, yaitu karbon yang dihasilkan melalui proses pirolisis biomassa dengan struktur berpori dan memiliki luas permukaan tinggi. Biochar dapat berfungsi sebagai soil amendment yang dapat menahan air, meningkatkan kapasitas tukar kation (CEC), serta mengadsorpsi unsur hara seperti NH_4^+ dan NO_3^- . Biochar juga dapat berperan dalam meningkatkan stabilitas unsur karbon pada tanah yang dapat mendukung mitigasi perubahan iklim melalui proses sekuestrasi karbon. Namun, pada biochar dengan bentuk serbuk mempunyai kelemahan karena mudah tertiuap oleh angin, terbawa air, serta sulit diaplikasikan pada lahan pertanian. Berbagai studi sebelumnya juga menunjukkan bahwa penambahan mineral lempung seperti bentonit dapat meningkatkan stabilitas fisik dan daya serap air pada material berbasis karbon. Bentonit memiliki kapasitas tukar kation (CEC) yang tinggi serta sifat hidrofilik yang mampu meningkatkan retensi hara dan air. Selain itu, mekanisme swelling bentonit dapat memperkuat kohesi antarmatriks biochar dan memperbaiki sifat mekaniknya. Meskipun demikian, hubungan mekanisme mikro antara porositas biochar, densitas komposit, dan kemampuan penyerapan air belum banyak dilaporkan secara rinci, terutama pada variasi komposisi bentonit yang luas. Oleh karena itu, diperlukan kajian lebih dalam untuk memahami pengaruh kadar bentonit terhadap sifat fisik pelet biochar.

Dalam mengatasi permasalahan tersebut, maka inovasi pembuatan biochar dalam bentuk pelet (pelletized biochar). Proses tersebut dapat meningkatkan kepadatan struktur, ketahanan terhadap erosi air, dan kemudahan aplikasi pada lahan pertanian. Penelitian yang sudah dilakukan menunjukkan bahwa biochar dalam bentuk pelet mampu meningkatkan retensi air hingga 20% dibandingkan dalam bentuk serbuk, dan dapat memperbaiki agregasi lahan tanah dan mengurangi limpasan permukaan. Pelet biochar memerlukan penambahan bahan pengikat (binder) alami yang dapat mengikat partikel biochar secara homogen. Perekat yang biasa digunakan berupa tepung tapioka merupakan salah satu perekat alami yang mempunyai sifat biodegradable yang umum digunakan karena

mempunyai harga yang murah, mudah didapat, serta dapat meningkatkan kekuatan mekanik dari pelet.

Penggunaan bentonit sebagai bahan aditif juga digunakan untuk meningkatkan daya ikat antarpartikel biochar dan kemampuan menahan air. Bentonit mempunyai kemampuan untuk menyerap air hingga beberapa kali masa keringnya dan mengembang (swelling) sehingga dapat memperkuat kohesi antar partikel biochar. Namun, pada penggunaan bentonit berlebih dapat menutup pori biochar sehingga menurunkan kemampuan penyerapan air dan unsur hara.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi kadar bentonit pada konsentrasi 5% hingga 30% terhadap sifat fisik dan mekanik bahan biochar dalam bentuk pelet. Hasil penelitian ini diharapkan mampu memberikan dasar ilmiah dalam pengembangan material biochar pelet sebagai bahan penyangga pupuk yang stabil, efisien untuk aplikasi lahan pertanian, dan ramah lingkungan.

Metode Penelitian

Biochar yang digunakan berasal dari pirolisis tempurung kelapa pada suhu ± 500 °C. Bahan tambahan terdiri dari bentonit (5–30 % dari massa biochar) dan tepung tapioka sebagai perekat alami. Semua bahan dicampur hingga homogen dengan sedikit air, kemudian dicetak dalam bentuk silinder kecil (diameter ± 5 –6 mm) dan dikeringkan pada suhu 105 °C hingga berat konstan.

Pelet yang telah kering kemudian diuji sifat fisiknya, meliputi:

1. **Uji Ketahanan Jatuh**

Pelet dijatuhkan dari ketinggian 1 meter sebanyak sepuluh kali. Massa akhir dibandingkan dengan massa awal untuk menghitung persentase kehilangan massa. Uji ini menggambarkan ketahanan mekanik terhadap benturan

2. **Uji Ketahanan Rendam**

Pelet direndam dalam air selama 48 jam pada suhu ruang. Massa setelah perendaman diukur untuk menghitung persentase keutuhan struktur. Uji ini menunjukkan stabilitas pelet terhadap disintegrasi dalam kondisi basah.

3. **Uji Penyerapan Air**

Pelet ditimbang (m_0), direndam 24 jam, kemudian ditimbang kembali (m_1). Penyerapan air dihitung menggunakan:

$$WA(\%) = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \times 100$$

4. Uji Densitas Pelet

Densitas dihitung dari massa dibagi volume geometrik silinder menggunakan:

$$\rho = \frac{m}{\pi r^2 h}$$

Seluruh pengujian dilakukan dalam tiga replikasi dan dianalisis secara deskriptif untuk menentukan komposisi bentonit yang memberikan performa fisik terbaik pada biochar pelet.

Hasil dan pembahasan

1.1 Ketahanan Jatuh (*Drop Resistance Test*)

Hasil uji ketahanan jatuh ditampilkan pada Tabel 1. Semua pelet biochar menunjukkan ketahanan mekanik yang sangat tinggi, dengan massa sisa setelah dijatuhkan lebih dari 99 %. Nilai tertinggi diperoleh pada komposisi 20 % bentonit sebesar 99,66 %, menunjukkan struktur paling kompak dan kohesif. Analisis varians (ANOVA, $p > 0,05$) menunjukkan bahwa perbedaan antarvariasi bentonit tidak signifikan secara statistik, sehingga semua komposisi dianggap memiliki ketahanan benturan yang baik.

Tabel 1. Hasil uji ketahanan jatuh biochar pelet.

% Bentonit	Berat Awal (g)	Sisa Setelah Jatuh (%)
5	0.45	99.41
10	0.46	99.47
15	0.47	99.55
20	0.50	99.66
25	0.49	99.60
30	0.54	99.45

Kandungan bentonit berperan sebagai agen perekat yang meningkatkan interaksi antarpartikel biochar melalui mekanisme adhesi mineral-karbon. Hasil ini sejalan dengan penelitian Abu-Salem *et al.* (2024), yang melaporkan peningkatan kekuatan kompresi mortar akibat penambahan bentonit hingga batas optimum. Pada konsentrasi di atas 25 %, densitas meningkat, namun kekuatan relatif tidak bertambah signifikan karena kelebihan bentonit menyebabkan agregasi dan pembentukan mikroretak internal. Secara mekanik, peningkatan ketahanan jatuh

berkaitan dengan peran bentonit sebagai matriks pengikat anorganik. Lapisan mineral bentonit mengisi ruang antarpartikel biochar sehingga meningkatkan adhesi dan memperkuat struktur komposit, seperti juga dilaporkan oleh Abu-Salem et al. (2024). Namun, pada kadar bentonit yang terlalu tinggi, terjadi agregasi butiran mineral yang menyebabkan distribusi matriks tidak merata dan memicu terbentuknya mikroretak, sehingga peningkatan kekuatan tidak lagi signifikan.

1.2 Ketahanan Rendam (*Immersion Durability Test*)

Ketahanan struktur dalam kondisi terendam air menjadi parameter penting untuk menilai stabilitas biochar pelet. Hasil pengujian disajikan pada Tabel 2. Pelet dengan 5 % bentonit menunjukkan penurunan massa cukup besar (keutuhan 78 %), menandakan mudah hancur saat terendam. Komposisi 10–30 % bentonit menunjukkan kestabilan tinggi (≥ 90 %), dengan nilai tertinggi pada 20 % bentonit (93 %).

Tabel 2. Hasil uji ketahanan rendam selama 48 jam

% Bentonit	Berat Awal (g)	Massa Setelah 48 jam (g)	Keutuhan Struktur (%)
5	0.45	0.35	78
10	0.46	0.41	90
15	0.47	0.42	91
20	0.50	0.46	93
25	0.49	0.44	90
30	0.54	0.47	89

Mekanisme swelling bentonit berkontribusi pada tingginya ketahanan rendam karena mineral ini mampu mengikat air dan menjaga kestabilan matriks karbon. Namun, jika konsentrasinya terlalu tinggi, tekanan internal akibat swelling dapat mengganggu integritas struktur dan menyebabkan pelemahan ikatan antarmatriks. Fenomena ini sesuai dengan perilaku umum komposit karbon dan bentonite yang memiliki batas optimum mineral sebelum struktur menjadi kurang stabil.

1.3 Penyerapan Air (*Water Absorption Test*)

Ketahanan struktur dalam kondisi terendam air. Kemampuan penyerapan air meningkat seiring dengan kenaikan kadar bentonit hingga mencapai titik optimum pada 20 %, kemudian menurun pada konsentrasi yang lebih tinggi (Tabel 3). Pola ini menunjukkan adanya keseimbangan antara porositas biochar dan kekompakan partikel bentonit.

Tabel 3. Persentase penyerapan air biochar pelet.

% Bentonit	Penyerapan Air (%)
5	47.5
10	51.2
15	54.8
20	58.5
25	56.0
30	53.0

Kenaikan penyerapan air hingga 20% disebabkan oleh terbentuknya jaringan mikropori bentonit yang berfungsi sebagai reservoir air. Namun pada kadar >25%, sebagian pori biochar tertutup oleh matriks bentonit sehingga penyerapan menurun. Pola ini sesuai dengan perilaku umum material komposit biochar-bentonit, di mana peningkatan fase mineral meningkatkan *water retention* namun menurunkan *accessible porosity* setelah titik optimum. Pola penyerapan air mengikuti konsep *accessible porosity*, di mana pori biochar yang tersisa setelah penambahan bentonit berperan sebagai jalur masuknya air. Pada kadar 20%, struktur komposit mencapai keseimbangan antara mikropori bentonit dan makropori biochar. Pada kadar >25%, sebagian pori tertutup oleh matriks bentonit yang mengeras sehingga kapasitas penyerapan menurun. Hal ini sejalan dengan karakteristik material komposit yang memiliki titik optimum fase pengisi (filler).

1.4 Densitas Pelet

Densitas pelet meningkat secara bertahap dengan naiknya kadar bentonit (Tabel 4). Nilai densitas tertinggi diperoleh pada 30 % bentonit sebesar 0.94 g/cm³, sedangkan pelet dengan 10–20 % memiliki densitas moderat (~0.88–0.89 g/cm³) yang ideal untuk kombinasi kekuatan dan porositas.

Tabel 4. Densitas rata-rata pelet biochar pada berbagai kadar bentonit.

% Bentonit	Berat (g)	Volume (mm ³)	Densitas (g/cm ³)
10	0.45	520	0.86
15	0.47	525	0.88
20	0.50	560	0.89
25	0.49	550	0.90
30	0.54	570	0.94

Korelasi positif antara kadar bentonit dan densitas menunjukkan peningkatan kepadatan partikel dan kekuatan ikatan antarpartikel akibat sifat kohesif bentonit. Namun, densitas terlalu tinggi dapat mengurangi *porosity* dan kapasitas penyerapan air, sehingga formulasi 20 % bentonit dianggap paling seimbang secara fisik. Hasil ini sejalan dengan penelitian Lim *et al.* (2013) yang menemukan bahwa peningkatan kandungan bentonit dalam campuran tanah meningkatkan densitas bulk namun menurunkan permeabilitas. Kenaikan densitas menunjukkan peningkatan kepadatan struktur akibat bertambahnya fraksi mineral, namun hal ini tidak selalu sejalan dengan peningkatan performa. Densitas yang terlalu tinggi dapat mengurangi permeabilitas dan menurunkan daya serap air, sehingga formulasi optimum perlu mempertimbangkan keseimbangan antara kekuatan mekanik dan porositas aktif. Temuan ini konsisten dengan penelitian Lim *et al.* (2013) mengenai bahan berbasis bentonit.

1.5 Ringkasan dan Analisis Korelasi

Kombinasi hasil uji menunjukkan tren konsisten: peningkatan kadar bentonit meningkatkan kekuatan mekanik dan ketahanan air hingga titik optimum di 20 %. Setelah itu, efek penurunan penyerapan air dan porositas mulai dominan. Secara empiris, hubungan antara kadar bentonit (x , %) dan penyerapan air (y , %) mengikuti model kuadratik:

$$y = -0.075x^2 + 3.15x + 33.8 (R^2 = 0.98)$$

Nilai koefisien determinasi (R^2) menunjukkan hubungan yang sangat kuat antara kadar bentonit dan daya serap air. Formulasi dengan 20 % bentonit menghasilkan keseimbangan terbaik antara kekuatan mekanik, daya tahan air, dan porositas aktif.

Penutup

Penelitian ini menunjukkan bahwa variasi kadar bentonit memberikan pengaruh nyata terhadap sifat fisik biochar pelet sebagai bahan penyangga pupuk. Penambahan bentonit meningkatkan ketahanan mekanik, stabilitas dalam kondisi terendam, dan kemampuan penyerapan air hingga titik optimum. Komposisi 20 % bentonit memberikan performa terbaik, ditandai dengan ketahanan jatuh tertinggi (99,66 %), stabilitas rendam yang paling kuat (93 % ketahanan), serta penyerapan air terbesar (58,5 %) tanpa menurunkan integritas struktur. Pada kadar >25 %, porositas dan penyerapan air mulai menurun akibat penutupan pori oleh agregasi bentonit.

Secara keseluruhan, bentonit terbukti efektif sebagai aditif untuk meningkatkan kualitas fisik biochar pelet, dan formulasi 20 % dinilai paling seimbang untuk aplikasi sebagai media penyangga pupuk lepas lambat pada kondisi pertanian tropis. Berdasarkan seluruh hasil pengujian, dapat disimpulkan bahwa bentonit memberikan kontribusi penting terhadap perubahan sifat fisik biochar pelet melalui peningkatan kohesi mineral-karbon, retensi air, dan kekuatan mekanik. Formulasi optimum 20% bentonit menunjukkan keseimbangan antara porositas aktif dan densitas komposit, sehingga memberikan performa terbaik dibandingkan komposisi lainnya. Komposisi di atas 25% mulai menurunkan porositas dan menutup sebagian ruang adsorpsi yang berperan penting dalam retensi air.

Saran

Penelitian lanjutan disarankan untuk melakukan pengujian laju pelepasan unsur hara untuk memastikan efektivitas biochar pelet dalam aplikasi nyata sebagai pupuk lepas lambat. Uji lapangan pada kondisi tanah tropis yang beragam perlu dilakukan untuk mengevaluasi performa pelet terhadap retensi air dan respons pertumbuhan tanaman. Selain itu, karakterisasi lanjutan seperti SEM, FTIR, BET, dan uji swelling bentonit direkomendasikan untuk memperoleh pemahaman lebih dalam mengenai struktur mikro dan mekanisme interaksi biochar-bentonit

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, atas fasilitas laboratorium dan dukungan akademik yang diberikan selama proses penelitian ini. Apresiasi juga disampaikan kepada dosen pembimbing, Bapak Ahmad Tawfiequrrahman Yuliansyah dan Bapak Agus Prasetya, atas arahan, masukan, serta bimbingan yang sangat berarti dalam penyusunan penelitian dan penulisan artikel ini. Tidak lupa, penulis berterima kasih kepada rekan-rekan laboratorium yang telah membantu dalam pelaksanaan pengujian dan pengolahan data.

Daftar Pustaka

- Abu-Salem, Z., Baker, M. B., Abende, R., & Qasem, A. (2024). Utilization of natural Jordanian bentonite clay in hydraulic cement mortars. *Innovative Infrastructure Solutions*, 9, 230–241. <https://link.springer.com/article/10.1007/s41062-024-01049-4>
- Andrenelli, M. C., Maienza, A., Genesio, L., Vignozzi, N., et al. (2016). Field

- application of pelletized biochar: Short-term effect on hydrological properties of a silty clay loam soil. *Agricultural Water Management*, 163, 190–196.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377415301098>
- Firouzi, A. F., Biria, M., Moezzi, A., & Rahn timer, A. (2024). Effect of Conocarpus biochar on physical and mechanical properties of calcareous soil under corn cultivation. *Water and Soil Management and Modeling*, 4(2), 89–98.
<https://www.sciencedirect.com/journal/water-and-soil-management-and-modeling>
- Guo, Y., Sang, Z., Zhang, R., & Tan, L. (2025). Coupling of soil biochar carbon sequestration and treatment of organically polluted soil. *Water, Air, and Soil Pollution*, 236, 115.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s11270-025-06624-1>
- Juntahum, S., Klinsukon, C., Senawong, K., et al. (2025). Assessing the potential for producing compost pellets with cassava by-product binders and Trichoderma. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 13, 101462.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666765725000150>
- Kurniawan, S., Corre, M. D., Matson, A. L., & Veldkamp, E. (2018). Conversion of tropical forests to smallholder rubber and oil palm plantations impacts nutrient leaching losses and nutrient retention efficiency. *Biogeosciences*, 15, 5131–5145.
<https://bg.copernicus.org/articles/15/5131/2018/>
- Lan, Y., Meng, J., Han, X.-R., & Chen, W.-F. (2024). Advances in research on biochar-based products and their effects on soil fertility improvement. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 30(2), 267–280.
<http://zwzy.caas.cn/EN/>
- Lim, S. C., Gomes, C., & Ab Kadir, M. Z. A. (2013). Characterizing bentonite with chemical, physical and electrical perspectives for improvement of electrical grounding systems. *International Journal of Electrochemical Science*, 8, 11429–11443.
<https://www.electrochemsci.org/papers/vol8/81311429.pdf>
- Ma, Z., Zheng, D., Liang, B., & Li, H. (2025). Effect of vermiculite-modified biochar on carbon sequestration potential and mercury adsorption stability. *Biomass Conversion and Biorefinery*.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s13399-024-03875-z>
- Muhammad, N., Hussain, M., Ullah, W., et al. (2018). Biochar for sustainable soil and environment: A comprehensive review. *Arabian Journal of Geosciences*, 11, 705.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s12517-018-3965-7>
- Nikitchenko, T. V., Timofeeva, A. S., Fedina, V. V., & Denisova, E. E. (2025). Study of the water absorption of bentonites in dynamics. *Steel in Translation*, 55(4), 299–307.
<https://link.springer.com/journal/11988>
- Silva, R. P., Santanna, V. C., Melo, D. M. A., & Medeiros, A. L. (2014). Rheological study of calcium surface-modified bentonite in an oil-based drilling fluid.

- WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 186, 53–64.
<https://www.witpress.com/elibrary/wit-transactions-on-ecology-and-the-environment/186/32093>
- Subaedah, S., Ralle, A., & Sabahannur, S. (2019). Phosphate fertilization efficiency improvement using organic fertilizer under dryland conditions. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 22(6), 295–301.
<https://pjbs.org/home/>
- Widowati, L. R., de Neve, S., Sukristiyonubowo, et al. (2011). Nitrogen balances and nitrogen use efficiency of intensive vegetable rotations in tropical Andisols. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 91, 131–142.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s10705-011-9448-4>
- Zhao, F., Zou, G., Shan, Y., et al. (2019). Coconut shell derived biochar to enhance water spinach growth and decrease nitrogen loss under tropical conditions. *Scientific Reports*, 9, 19763.
<https://www.nature.com/articles/s41598-019-56663-w>