

Porositas Biochar Tempurung Kelapa

Faidliyah Nilna Minah ¹⁾, Cindy Mutiara Septani ²⁾, M. Istnaeny Hudha ³⁾

^{1),2),3)} Program Studi Teknik Kimia, Institut Teknologi Nasional Malang
Jl. Karanglo km 2, Tasikmadu, Kota Malang, Jawa Timur 65143
Email : nilnaminah@gmail.com

Abstrak. Biochar adalah hasil pembakaran bahan organik dengan oksigen terbatas sehingga kaya akan kandungan karbon. Biochar merupakan salah satu bentuk material penangkap CO₂. Biochar memiliki potensi aplikasi yang sangat luas antara lain sebagai material revitalisasi tanah, komposit untuk bahan bangunan, material adsorben, dan lain sebagainya. Salah satu limbah yang bisa dikonversi menjadi biochar adalah limbah tempurung kelapa. Limbah tempurung kelapa dapat dikarbonisasi dengan suhu tinggi menjadi biochar yang nantinya akan digunakan sebagai material komposit. Tempurung kelapa memiliki kandungan selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang tinggi sehingga memiliki persentase kadar karbon yang tinggi. Selain itu, material karbon yang dihasilkan akan memiliki pori dengan ukuran bervariasi baik itu mesopori maupun makropori. Nantinya karakter karbon berpori yang dihasilkan oleh proses karbonisasi dapat dimanfaatkan untuk menciptakan paving berpori yang mudah menyerap air sehingga meminimalisir adanya genangan dan banjir saat hujan turun. Dalam penelitian ini, limbah tempurung kelapa terlebih dahulu dikarbonisasi menjadi biochar pada suhu optimum untuk menghasilkan struktur pori yang maksimal dalam penyerapan air. Uji karakteristik biochar dilakukan untuk mengetahui keterkaitan suhu dan pori yang dihasilkan. Biochar dengan pori terbaik dicapai pada proses karbonisasi 500° C dengan luas permukaan 32,565 m²/g.

Katakunci: Biochar, Tempurung kelapa, Material Berpori, Karbon

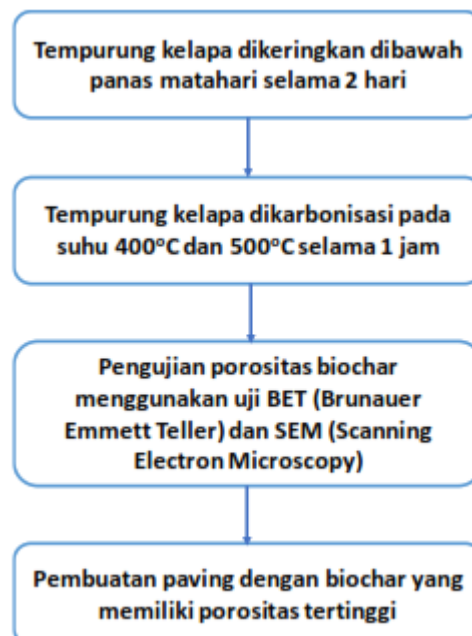
1. Pendahuluan

Teknologi penangkapan CO₂ secara langsung adalah salah satu alternatif mitigasi pemanasan global dengan menciptakan karbon netral. Karbon netral adalah kondisi keseimbangan antara CO₂ yang berada di atmosfer dan karbon yang terserap di dalam tanah. Salah satu metode paling efisien dan ekonomis ialah mengkonversi karbon organik menjadi material yang bisa dimanfaatkan secara langsung dalam bentuk material komposit untuk material konstruksi.[1,2]

Biochar adalah bahan padat kaya karbon hasil konversi dari limbah organik (biomasa pertanian) melalui pembakaran tidak sempurna dengan suplai oksigen terbatas. Biochar memiliki afinitas yang tinggi terhadap molekul nonpolar seperti CO₂. [1] Selain itu, biochar memiliki luas permukaan yang luas yang memungkinkan untuk digunakan sebagai situs penangkapan dan penyimpanan CO₂ di dalam pori-porinya. Penyimpanan CO₂ telah banyak diaplikasikan sebagai bahan pengkondisi tanah dan sebagai material untuk pengolahan air limbah. Sejauh ini, aplikasi biochar dan penyimpanan CO₂ sebagai bahan material komposit. Pemanfaatan biochar sebagai material konstruksi memungkinkan untuk melakukan penangkapan CO₂ dan menyimpannya dalam bentuk material infrastruktur yang memiliki nilai guna.[1,3]

Sejauh ini, pemanfaatan biochar sebagai strategi penangkapan CO₂ dan penyimpanan hanya terbatas pada aplikasi pertanian yaitu sebagai bahan penambah kesuburan tanah dan adsorben material untuk emisi pembakaran. Ketika biochar ditambahkan ke dalam tanah, maka karbon dapat disimpan dalam kondisi stabil dan waktu lama. Penggunaan biochar sebagai bahan pembuatan paving memiliki banyak keuntungan. Selain sebagai alternatif penyimpanan karbon, penggunaan biochar dalam paving dapat memperkuat struktur paving. Selain itu, biochar memiliki struktur pori yang bisa dimanfaatkan dalam mengatur daya serap paving yang dibuat.[2,4,5]

Salah satu material yang bisa dikonversi menjadi biochar dan melimpah adalah limbah pertanian. Tidak semua limbah pertanian bisa dikonversi menjadi biochar. Hanya limbah pertanian yang memiliki kandungan lignin, selulosa dan hemiselulosa yang tinggi yang bisa menghasilkan kualitas biochar yang baik. Salah satu limbah yang melimpah dan dapat dimanfaatkan sebagai biochar adalah limbah tempurung kelapa. Limbah tempurung kelapa memiliki kandungan selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang tinggi sehingga memiliki persentase kadar karbon yang tinggi setelah dilakukan proses karbonisasi. Selain itu, ukuran pori biochar dapat disesuaikan berdasarkan suhu karbonisasinya.[6.7] Karakter biochar berpori yang dihasilkan oleh karbonisasi tempurung kelapa dapat dimanfaatkan untuk menciptakan material komposit dalam bentuk paving berpori yang mudah menyerap air sehingga meminimalisir adanya genangan dan banjir saat hujan turun. Penggunaan biochar sebagai material paving berpori masih jarang diteliti. Optimasi proses pembuatan biochar sangat penting untuk menentukan kualitas paving yang dihasilkan. Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada proses konversi limbah tempurung kelapa. Proses karbonisasi divariasikan pada suhu 400°C dan 500°C kemudian dilakukan uji porositas. Uji BET (Brunauer Emmett Teller) dan SEM (Scanning Electron Microscopy) digunakan untuk menentukan kondisi karbonisasi optimum yang menghasilkan pori paling luas permukaannya. Biochar dari kondisi optimum tersebut yang digunakan untuk material komposisi paving. Berikut ini adalah tahapan penelitian yang dilakukan:

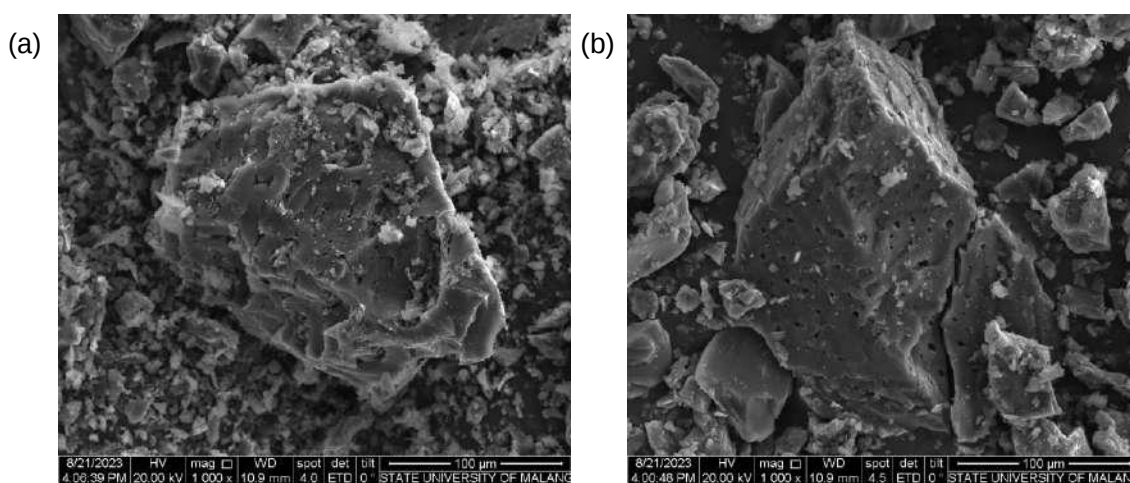


Gambar 1. Tahapan penelitian biochar

2. Pembahasan

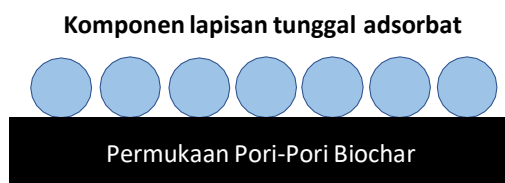
Tempurung kelapa yang telah dikeringkan dibawah terik matahari kemudian dilakukan karbonisasi pada suhu 400°C dan 500°C. Kedua suhu tersebut dipilih sedikit lebih tinggi dari suhu degradasi selulosa (315 °C), hemiselulosa (220 °C), dan lignin (160 °C) yang merupakan komponen penyusun tempurung kelapa. Pada kedua suhu uji 400°C dan 500°C diharapkan pori-pori telah terbentuk di dalam biochar tempurung kelapa.

Uji SEM (Scanning Electron Microscopy) yang ditunjukkan pada Gambar 2. menampilkan secara visual porositas dari biochar hasil karbonisasi pada suhu 400°C dan 500°C. Dari kedua hasil SEM tersebut dapat dibandingkan bahwa biochar hasil karbonisasi pada suhu 400°C memiliki diameter dan densitas pori-pori lebih kecil dibandingkan biochar hasil karbonisasi pada suhu 500°C. Gambar 2. Juga menunjukkan bahwa pori-pori biochar hasil karbonisasi pada suhu 400°C terlihat dangkal tidak menembus sisi dalam material karbon. Hal ini menunjukkan bahwa suhu karbonisasi 400°C terlalu rendah untuk menghasilkan pori-pori yang terdistribusi rata dan menyeluruh. Disisi lain. Hasil karbonisasi pada suhu 500°C lebih merata dan pori-porinya masuk hingga kedalam material karbon.

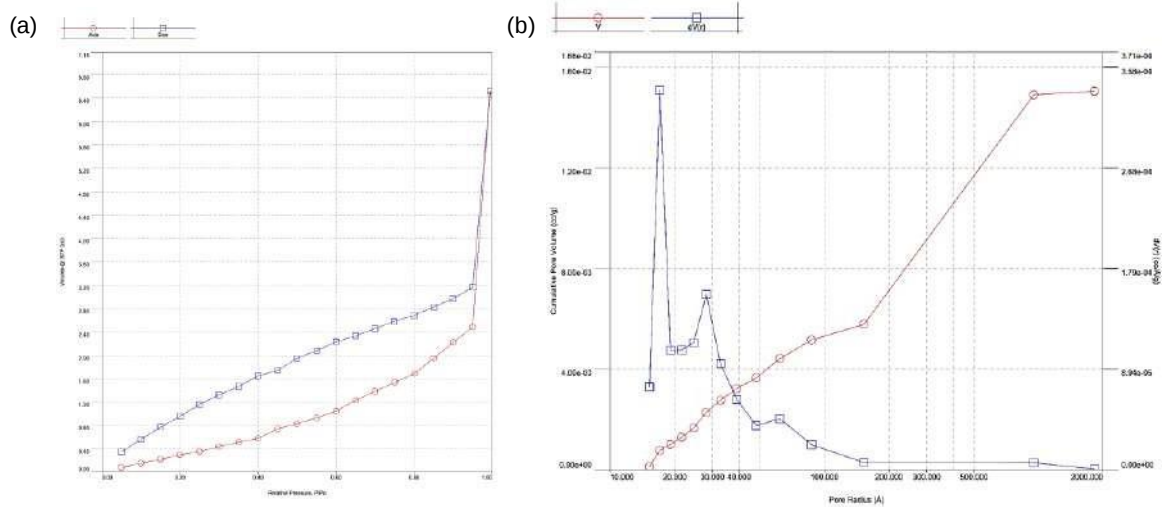


Gambar 2. Hasil SEM (Scanning Electron Microscopy) (a) Biochar hasil karbonisasi suhu 400°C dan (b) Biochar hasil karbonisasi suhu 500°C

Selain melakukan pengamatan kualitatif secara visual melalui uji SEM, analisa kuantitatif juga dilakukan menggunakan uji BET yang menghasilkan data grafik adsorpsi-desorpsi N₂ isotherm dan distribusi pori-pori. Gambar 4 menunjukkan hasil uji porositas dengan BET dari karbonisasi tempurung kelapa pada suhu 400°C. Pada Gambar 3a, grafik adsorpsi-desorpsi N₂ isotherm menunjukkan tipe adsorpsi I yang merupakan tipe adsorpsi *monolayer* (lapisan tunggal) seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Tipe I menunjukkan bahwa material karbon biochar memiliki struktur mikropori dengan diameter kurang dari 2 nm. Distribusi pori-pori juga ditunjukkan melalui prinsip uji BJH (Barrett-Joyner-Halenda) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Distribusi pori dari biochar yang dikarbonisasi pada suhu 400°C didominasi oleh mikropori dengan diameter rata-rata 1.7 nm dan luas permukaan total dari biochar tersebut ialah 3,573 m²/g.



Gambar 3. Skema adsorpsi lapis tunggal



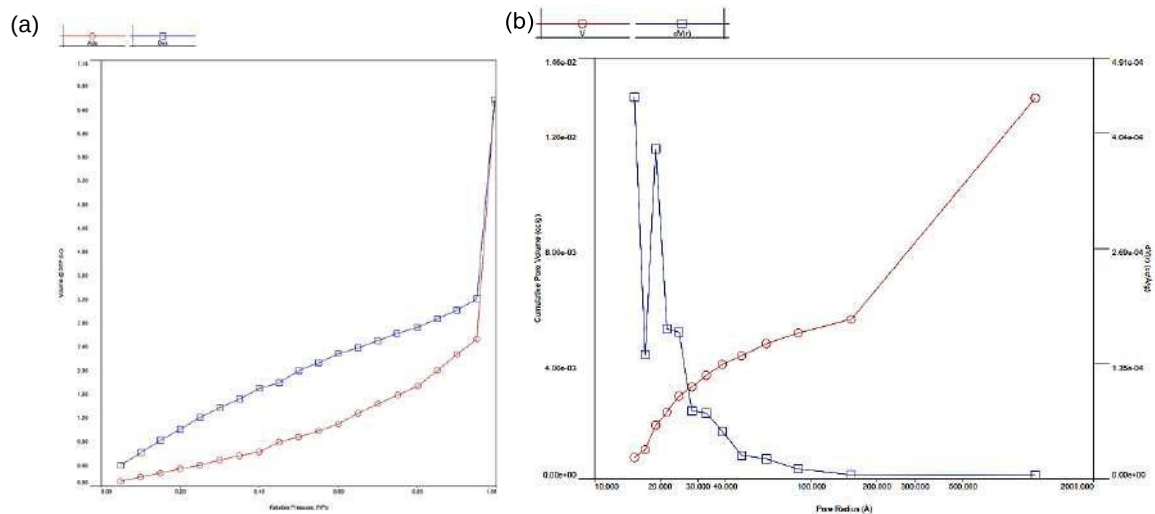
Gambar 4. Hasil uji BET pada biochar hasil karbonisasi suhu 400°C (a) Adsorpsi-desorpsi N₂ isotherm dan (b) Distribusi pori-pori.

Hasil uji porositas BET juga dilakukan pada biochar yang dikarbonisasi pada suhu 500°C. Gambar 5a menunjukkan bahwa material biochar memiliki adsorpsi-desorpsi N₂ isotherm tipe I yang merupakan tipe adsorpsi monolayer. Adsorben tipe I memiliki diameter pori-pori kurang dari 2 nm dan memiliki sistem adsorpsi monolayer. Dari hasil analisa berdasarkan prinsip BJH maka didapatkan distribusi pori-pori dengan rata-rata diameter pori sebesar 1.7 nm dan luas permukaan material sebesar 32,565 m²/g.

Berdasarkan hasil uji porositas yang dilakukan pada biochar hasil karbonisasi pada suhu 400°C dan 500°C, keduanya memiliki jenis pori yang sama yaitu tipe I adsorpsi monolayer. Isoterm tipe I diperoleh ketika $P/P_0 < 1$ dan $c > 1$ pada persamaan BET, dimana P/P_0 adalah nilai tekanan parsial dan c adalah konstanta BET, yang berhubungan dengan energi adsorpsi lapisan tunggal pertama dan bervariasi berdasarkan jenis sampel padat. Tipe I tersebut merupakan tipe yang umum dimiliki oleh material berpori seperti biochar, arang aktif, zeolit, dan lain sebagainya,

Kedua hasil biochar tersebut memiliki ukuran diameter pori-pori yang relative sama yaitu 1.7 nm. Meskipun begitu, ukuran luas permukaan dari kedua material tersebut jauh berbeda. Biochar hasil karbonisasi pada suhu 400°C memiliki luas permukaan 3,573 m²/g, sedangkan biochar hasil karbonisasi pada suhu 500°C memiliki luas permukaan sebesar 32,565 m²/g. Perbedaan luas permukaan pori yang signifikan tersebut menunjukkan bahwa pada suhu 500°C, degradasi komponen lignin, selulosa dan hemiselulosa menciptakan pori-pori yang merata hingga ke dalam material karbon. Hasil dari uji porositas menggunakan BET memiliki kesimpulan yang sama dengan hasil observasi visual SEM.

Berdasarkan hasil uji porositas biochar menggunakan SEM dan BET, maka didapatkan suhu optimum yang menghasilkan biochar dengan luas permukaan terbesar adalah 500°C. Biochar yang dihasilkan dari proses karbonisasi pada suhu 500°C tersebut kemudian digunakan sebagai material komposit untuk paving berpori. Komposisi biochar mengganti komposisi pasir yang digunakan dalam material paving. Komposisi biochar tersebut memiliki 5 variasi yaitu biochar 0%, 20%, 40%, 60%, dan 80%. Sampel paving berpori dicetak kubus dengan ukuran 5x5x5 cm. Sampel komposit paving ini nantinya dilakukan uji permease air dan uji kuat tekan umyuk mengetahui komposisi biochar optimum yang bisa digunakan untuk membuat paving berpori sesuai standar SNI. Sampel komposit paving yang akan diuji ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 5. Hasil uji BET pada biochar hasil karbonisasi suhu 500°C (a) Adsorpsi-desorpsi N₂ dan (b) Distribusi pori-pori.



Gambar 6. Foto sampel paving berpori menggunakan biochar hasil karbonisasi 500°C

3. Kesimpulan

Biochar merupakan material karbon berpori yang bisa dimanfaatkan dalam material komposit. Pori-pori biochar memiliki pengaruh yang signifikan dalam aplikasi. Biochar yang dikarbonisasi diatas suhu degradasi selulosa, lignin dan hemiselulosa, yaitu 400°C dan 500°C menunjukkan pori-pori dengan diameter rata-rata 1.7 nm dengan tipe pori I yang merupakan tipe adsorpsi monolayer (lapisan tunggal). Biochar hasil karbonisasi suhu 500°C menunjukkan luas permukaan pori-pori yang cukup tinggi yaitu 32,565 m²/g dibandingkan hasil karbonisasi suhu 400°C yang memiliki luas permukaan pori-pori 3,573 m²/g. Hasil tersebut menunjukkan bahwa biochar hasil karbonisasi pada suhu 500°C adalah yang paling optimum untuk dimanfaatkan untu material komposit paving berpori.

Ucapan Terima Kasih

Penulis berterima kasih kepada Institut Teknologi Nasional (ITN) Malang yang telah memberikan dana hibah penelitian internal sehingga penelitian ini bisa berjalan dengan baik. Selain itu, penulis juga berterima kasih atas fasilitas yang diberikan oleh laboratorium Teknik Kimia dan Teknik Sipil sehingga penelitian ini memungkinkan untuk berjalan dengan lancar.

Daftar Pustaka

- [1]. Gupta, S.; Kua, H. W. Factors Determining the Potential of Biochar As a Carbon Capturing and Sequestering Construction Material: Critical Review. *Journal of Materials in Civil Engineering* **2017**, 29 (9). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0001924](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001924).
- [2]. Limantara, A. D.; Winarto, S.; Gardjito, E.; Subiyanto, B.; Raharjo, D.; Santoso, A.; Sudarmanto, H. L.; Mudjanarko, S. W. Optimization of Standard Mix Design of Porous Paving Coconut Fiber and Shell for the Parking Area; 2018; p 020029. <https://doi.org/10.1063/1.5062655>.
- [4]. Pizzanelli, S.; Maisano, S.; Pinzino, C.; Manariti, A.; Chiodo, V.; Pitzalis, E.; Forte, C. The Effect of Activation on the Structure of Biochars Prepared from Wood and from Posidonia Oceanica: A Spectroscopic Study. *Physchem* **2022**, 2 (3), 286–304. <https://doi.org/10.3390/physchem2030021>.
- [5]. Gupta, S.; Kua, H. W.; Koh, H. J. Application of Biochar from Food and Wood Waste as Green Admixture for Cement Mortar. *Science of The Total Environment* **2018**, 619–620, 419–435. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.044>.
- [6]. Batista, E. M. C. C.; Shultz, J.; Matos, T. T. S.; Fornari, M. R.; Ferreira, T. M.; Szpoganicz, B.; de Freitas, R. A.; Mangrich, A. S. Effect of Surface and Porosity of Biochar on Water Holding Capacity Aiming Indirectly at Preservation of the Amazon Biome. *Sci Rep* **2018**, 8 (1), 10677. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-28794-z>.
- [7]. Tripathi, M.; Sahu, J. N.; Ganesan, P. Effect of Process Parameters on Production of Biochar from Biomass Waste through Pyrolysis: A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2016, 55, 467–481. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.122>.
- [8]. Elbasiouny, H.; Elbehiry, F.; El-Ramady, H.; Hasanuzzaman, M. Contradictory Results of Soil Greenhouse Gas Emissions as Affected by Biochar Application: Special Focus on Alkaline Soils. *Int J Environ Res* 2021, 15 (5), 903–920. <https://doi.org/10.1007/s41742-021-00358-6>