

HYDROTHERMAL CARBONIZATION DARILIMBAH TANDAN KOSONG SAWIT MENGGUNAKAN SOLVEN LIMBAH AMPAS TAHU: KARAKTERISTIK PORI DAN NILAI KALOR

Achmad Iqbal Robbany¹, Akhmad Faruq Alhikami², Nur Robbi³

¹Teknik Mesin, Universitas Islam Malang Email :

22101052028@unisma.ac.id

² Teknik Mesin, Universitas Islam Malang Email :

nurrobby@unisma.ac.id

³ Teknik Mesin, Universitas Islam Malang Email :

alhikami@unisma.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini menganalisis pengaruh variasi suhu pada proses *hydrothermal carbonization* (HTC) terhadap karakteristik *hydrochar* dari limbah tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dengan ampas tahu sebagai *solvent* alami. Proses HTC dilakukan pada suhu 180°C dan 210°C selama 8 jam dengan rasio biomassa terhadap *solvent* 1:10. Karakterisasi dilakukan menggunakan metode *Brunauer–Emmett–Teller* (BET) untuk menentukan luas permukaan dan distribusi pori, serta uji nilai kalor (*higher heating value*/HHV). Hasil menunjukkan bahwa peningkatan suhu meningkatkan pembentukan mesopori, kapasitas adsorpsi, dan luas permukaan spesifik dengan isoterm tipe IV serta fenomena histeresis. Selain itu, nilai kalor *hydrochar* juga meningkat sehingga berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan baku karbon aktif dan sumber energi alternatif.

Kata Kunci: tandan kosong kelapa sawit (TKKS), *hydrothermal carbonization* (HTC), *hydrochar*, ampas tahu, luas permukaan spesifik, distribusi pori, *higher heating value* (HHV).

ABSTRAK

This study analyzes the effect of temperature variation in the hydrothermal carbonization (HTC) process on the characteristics of hydrochar produced from oil palm empty fruit bunches (EFB) using tofu dregs as a natural solvent. The HTC process was conducted at temperatures of 180°C and 210°C for 8 hours with a biomass-to-solvent ratio of 1:10. Material characterization was performed using the Brunauer–Emmett–Teller (BET) method to determine the specific surface area and pore distribution, as well as calorific value testing (higher heating value / HHV). The results show that increasing the HTC temperature enhances mesopore formation, adsorption capacity, and specific surface area, characterized by type IV isotherms and hysteresis phenomena. In addition, the calorific value of the hydrochar also increases, indicating its potential application as a raw material for activated carbon and as an alternative energy source.

Keywords: oil palm empty fruit bunches (EFB), *hydrothermal carbonization* (HTC), *hydrochar*, tofu dregs, specific surface area, pore distribution, higher heating value (HHV).

PENDAHULUAN

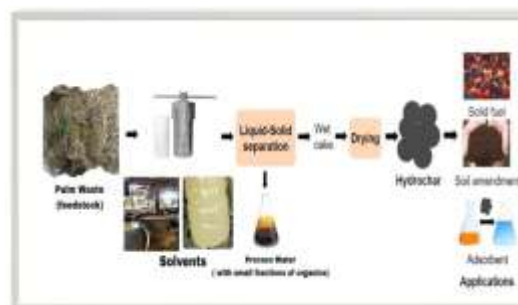
Industri kelapa sawit menghasilkan limbah biomassa dalam jumlah besar, salah satunya tandan kosong kelapa sawit (TKKS) yang memiliki potensi untuk dimanfaatkan kembali sebagai bahan baku bernilai tambah [1]. TKKS tersusun atas komponen lignoselulosa seperti selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang menjadikannya bahan yang potensial untuk dikonversi menjadi material karbon [2]. Namun, pemanfaatan TKKS masih relatif terbatas dan sebagian besar hanya digunakan sebagai kompos atau dibakar sehingga belum memberikan nilai ekonomi yang optimal [3]. Oleh karena itu, diperlukan teknologi pengolahan yang mampu meningkatkan nilai guna limbah biomassa tersebut sekaligus mendukung pengembangan energi terbarukan ([4]. Salah satu pendekatan yang dapat dilakukan adalah mengonversi TKKS menjadi material karbon berpori yang dapat digunakan sebagai adsorben atau bahan baku energi padat [5].

Salah satu metode yang banyak digunakan untuk mengolah biomassa menjadi material karbon adalah *hydrothermal carbonization* (HTC), yaitu proses konversi biomassa pada suhu relatif rendah dalam kondisi air bertekanan untuk menghasilkan produk padat kaya karbon yang disebut *hydrochar* [6]. Proses HTC mampu meningkatkan karakteristik struktur karbon biomassa melalui reaksi dehidrasi, dekarboksilasi, dan polimerisasi selama proses hidrotermal berlangsung [7]. Selain itu, parameter proses seperti suhu reaksi dan jenis pelarut (*solvent*) memiliki pengaruh signifikan terhadap pembentukan struktur pori dan sifat energi dari *hydrochar* yang dihasilkan [8]. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa peningkatan suhu proses HTC dapat memperbaiki struktur pori dan meningkatkan karakteristik karbon material yang dihasilkan [9]. Oleh karena itu, pemanfaatan limbah biomassa seperti TKKS

dengan bantuan pelarut alami dari limbah lain, seperti ampas tahu, berpotensi menghasilkan material karbon berpori yang memiliki nilai guna tinggi baik sebagai adsorben maupun sumber energi alternatif [10].

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental untuk menganalisis pengaruh variasi suhu pada proses *hydrothermal carbonization* (HTC) terhadap karakteristik *hydrochar* dari tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dengan ampas tahu sebagai *solvent* alami. TKKS yang telah dikeringkan dan diperkecil ukurannya direaksikan dalam reaktor tertutup pada suhu 180°C dan 210°C selama 8 jam dengan rasio biomassa terhadap *solvent* 1:10 (b/v). Setelah proses selesai dan reaktor didinginkan hingga suhu ruang, produk padat (*hydrochar*) dipisahkan dari fase cair, kemudian dikeringkan sebelum dilakukan karakterisasi.

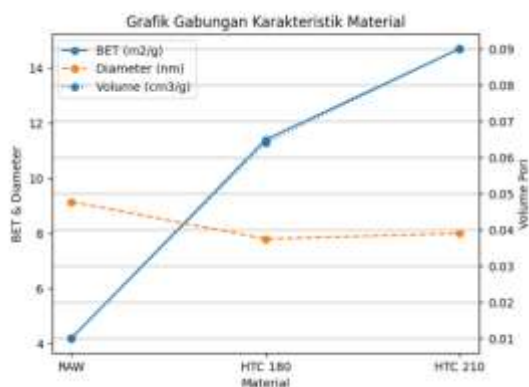


Gambar 1 Skema Instalasi Proses HTC

Skema tersebut menunjukkan proses *hydrothermal carbonization* (HTC) yang diawali dengan penggunaan limbah biomassa kelapa sawit sebagai bahan baku (*feedstock*) yang dicampurkan dengan pelarut (*solvent*) berbasis air, kemudian dimasukkan ke dalam reaktor tertutup dan dipanaskan pada kondisi suhu tinggi sehingga terjadi reaksi hidrotermal dalam fase cair. Selama proses ini berlangsung reaksi dehidrasi dan dekarboksilasi yang mengubah struktur lignoselulosa menjadi

material kaya karbon. Setelah reaksi selesai, campuran produk mengalami pemisahan cair–padat (*liquid-solid separation*), di mana bagian padat berupa *wet cake* kemudian dikeringkan untuk menghasilkan *hydrochar*. Sementara itu, fase cair berupa *process water* mengandung fraksi organik terlarut. Produk akhir *hydrochar* memiliki potensi aplikasi sebagai bahan bakar padat (*solid fuel*), pembenah tanah (*soil amendment*), maupun sebagai adsorben dalam pengolahan lingkungan, tergantung pada karakteristik pori dan kandungan karbon yang terbentuk selama proses HTC.

HASIL DAN PEMBAHASAN



Hasil analisis menunjukkan bahwa volume dan distribusi pori meningkat setelah proses *hydrothermal carbonization* (HTC), di mana sampel TR210 memiliki volume pori tertinggi pada radius 2–10 nm yang menandakan terbentuknya mesopori lebih banyak dan lebih teratur. Peningkatan struktur pori ini berdampak pada kenaikan kapasitas adsorpsi yang terlihat dari urutan EFB → TR180 → TR210, dengan TR210 mencapai sekitar 60 cm³/g STP karena luas permukaan spesifik yang lebih besar sehingga mampu menyerap lebih banyak molekul gas, yang juga didukung oleh penggunaan solven ampas tahu dalam proses HTC. Selain itu, pada TR210 terlihat loop histeresis yang jelas pada rentang P/P_0 0,5–0,9 yang termasuk isotherm tipe IV, menunjukkan terjadinya kondensasi kapiler

dalam mesopori yang lebih stabil dan berkembang, sehingga meningkatkan kemampuan adsorpsi material.

Sampel	Nilai Kalor (cal/gram)	Interpretasi
RAW TKKS	4033,25	Nilai kalor terendah, menunjukkan biomassa masih memiliki kadar air tinggi dan struktur karbon belum stabil.
TR180C	5774,16	Nilai kalor tinggi, perlakuan HTC pada 180°C efektif membentuk struktur karbon lebih stabil dan meningkatkan densitas energi. Nilai kalor sedikit lebih rendah dibanding TR180C; suhu terlalu tinggi berpotensi menurunkan kandungan karbon aktif akibat degradasi komponen muda menguap.
TR210C	5489,09	
Batu Bara Raw	5903,03	Nilai kalor tertinggi karena kandungan karbon sangat tinggi dan kadar air rendah; sesuai dengan sifat bahan bakar fosil.

KESIMPULAN

Proses *hydrothermal carbonization* (HTC) terbukti mampu meningkatkan struktur pori dan kemampuan adsorpsi tandan kosong kelapa sawit (TKKS). Material RAW memiliki luas permukaan dan kapasitas adsorpsi yang rendah, namun setelah proses HTC pada suhu 180°C dan 210°C terbentuk mesopori yang ditunjukkan oleh isotherm tipe IV disertai loop histeresis, sehingga kemampuan adsorpsi meningkat. Pengaruh suhu juga terlihat signifikan, di mana suhu 210°C menghasilkan struktur dan volume pori yang lebih baik sehingga berpotensi dimanfaatkan sebagai adsorben atau katalis. Selain itu, nilai kalor material juga meningkat dari 4033,25 cal/g pada RAW menjadi 5774,16 cal/g pada suhu 180°C dan 5489,09 cal/g pada suhu 210°C, yang mendekati nilai kalor batu bara sekitar 5903 cal/g, sehingga berpotensi material ini sebagai bahan bakar alternatif.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. F. Praevia and W. Widayat, "Analisis Pemanfaatan Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit Sebagai Cofiring pada PLTU Batubara," *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 3, no. 1, pp. 28–37,

- Mar. 2022, doi: 10.14710/jebt.2022.13367.
- [2] N. S. A. Sazuan, S. I. Zubairi, N. H. Mohd, and R. Daik, "Synthesising injectable molecular self-curing polymer from monomer derived from lignocellulosic oil palm empty fruit bunch biomass: A review on treating Osteoarthritis," *Arabian Journal of Chemistry*, vol. 16, no. 2, p. 104500, Feb. 2023, doi: 10.1016/j.arabjc.2022.104500.
- [3] P. Perebusan Dan Pengukusan, L. Agustina, and A. Halim, "KARAKTERISTIK SERAT TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT (TKKS) DENGAN Empty Fruit Bunches (Efb) Fiber With Boiling And Steaming Treatment)," vol. 41, no. 1, pp. 97–102, 2016.
- [4] S. Ayu Arsita, G. Eko Saputro, and S. Susanto, "Perkembangan Kebijakan Energi Nasional dan Energi Baru Terbarukan Indonesia," *Jurnal Syntax Transformation*, vol. 2, no. 12, pp. 1779–1788, Dec. 2021, doi: 10.46799/jst.v2i12.473.
- [5] M. Cavali *et al.*, "Hydrothermal carbonization – A critical overview of its environmental and economic sustainability," *J. Clean. Prod.*, vol. 491, p. 144838, Feb. 2025, doi: 10.1016/j.jclepro.2025.144838.
- [6] H. B. Sharma, A. K. Sarmah, and B. Dubey, "Hydrothermal carbonization of renewable waste biomass for solid biofuel production: A discussion on process mechanism, the influence of process parameters, environmental performance and fuel properties of hydrochar," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 123, p. 109761, May 2020, doi: 10.1016/j.rser.2020.109761.
- [7] J. González-Arias, M. E. Sánchez, J. Cara-Jiménez, F. M. Baena-Moreno, and Z. Zhang, "Hydrothermal carbonization of biomass and waste: sA review," *Environ. Chem. Lett.*, vol. 20, no. 1, pp. 211–221, Feb. 2022, doi: 10.1007/s10311-021-01311-x.
- [8] A. Portilla-Amaguaña, J. Barraza-Burgos, J. Guerrero-Perez, V. B. Borugadda, and A. K. Dalai, "Hydrothermal Carbonization of Green Harvesting Residues (GHRs) from Sugar Cane: Effect of Temperature and Water/GHR Ratio on Mass and Energy Yield," *ACS Omega*, vol. 9, no. 24, pp. 26325–26335, Jun. 2024, doi: 10.1021/acsomega.4c01875.
- [9] T. Diwa Larasati, T. Prakoso, and J. Rizkiana, "KARBONISASI LIMBAH KELAPA SAWIT DENGAN PROSES HIDROTERMAL SEBAGAI BAHAN BAKU ELEKTRODA SUPERKAPASITOR MANUFACTURING CARBON MATERIAL BY CARBONIZATION OF PALM OIL WASTE FOR SUPERCAPACITOR MATERIAL," *Jurnal Chemurgy*, vol. 05, no. 1, pp. 22–29, 2021, [Online]. Available: <http://e-journals.unmul.ac.id/index.php/TK>
- [10] E. S. Fitri and R. Ardiansyah, "Study and Characterization of Hydrochar from Duku (*Lansium domesticum*) Peel," *Indonesian Journal of Material Research*, vol. 1, no. 2, pp. 44–50, Jul. 2023, doi: 10.26554/ijmr.2023127.