

Analisis luas permukaan dan struktur pori pada permukaan *hydrochar* menggunakan teknik *hydrothermal carbonization* dari limbah tandan kosong sawit

Dafit Prasetyo¹, Akhmad Faruq Alhikami², Margianto³

¹²³Universitas Islam Malang

email: prasetyodavid275@gmail.com; alhikami@unisma.ac.id; margianto@unisma.ac.id

ABSTRAK

Beberapa negara menghadapi tantangan serius terkait keamanan energi, kelangkaan energi, dan isu pemanasan global yang saling bersaing. Saat ini teknologi pemrosesan sudah beranjak menggunakan bahan baku biomassa seperti tandan kosong kelapa sawit untuk dijadikan berbagai produk energi terbarukan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh peningkatan suhu 180°C dan 210°C pada proses *hydrothermal carbonization* menggunakan belimbing wuluh sebagai solven terhadap hasil produksi *hydrochar* dengan memanfaatkan limbah tandan kosong sawit sebagai bahan baku. Hasil pada penelitian ini yaitu proses HTC menyebabkan peningkatan pada luas permukaan dan volume pori secara signifikan, dengan perubahan diameter pori yang menunjukkan restrukturisasi pada suhu tinggi. HTC 210°C menunjukkan karakteristik yang terbaik karena luas permukaan dan volume pori tertinggi namun adanya penurunan pada rata-rata diameter pori. Penelitian ini menegaskan bahwa penggunaan metode HTC tidak hanya meningkatkan karakteristik *hydrochar* tetapi juga memberikan alternatif untuk mengurangi limbah pabrik untuk dijadikan produk yang mempunyai nilai tinggi. Penelitian ini diharapkan bisa untuk dijadikan referensi dalam pengembangan metode HTC biomassa sebagai solusi energi terbarukan di Indonesia.

Kata kunci: *Hydrothermal Carbonization*, Biomassa, Solven organik, Energi Terbarukan, BET

ABSTRACT

Several countries face serious challenges related to energy security, energy scarcity, and competing global warming issues. Currently, processing technology has moved to using biomass raw materials such as empty fruit bunches to be used as various renewable energy products. This study aims to determine the effect of increasing temperatures of 180°C and 210°C in the hydrothermal carbonization process using Averrhoa bilimbi as a solvent on the production of hydrochar by utilizing empty fruit bunches waste as raw material. The results of this study are that the HTC process causes a significant increase in surface area and pore volume, with changes in pore diameter indicating restructuring at high temperatures. HTC 210°C shows the best characteristics because it has the highest surface area and pore volume but there is a decrease in the average pore diameter. This study confirms that the use of the HTC method not only improves the characteristics of hydrochars but also provides an alternative to reduce factory waste to be used as a product that has high value. This study is expected to be used as a reference in the development of the HTC biomass as a renewable energy solution in Indonesia.

Keyword: *hydrothermal Carbonization*, Biomass, Organic solvent, renewable energy, BET

PENDAHULUAN

Banyaknya negara menghadapi tantangan serius terkait keamanan energi, kelangkaan energi, dan isu pemanasan global. Selama bertahun-tahun, permintaan energi terus meningkat sementara sumber daya energi yang tidak terbarukan semakin menipis [1]. Saat ini, pengembangan teknologi pemrosesan baru untuk menghasilkan energi terbarukan, *biofuel*, biokimia, dan biomaterial telah menjadi area penelitian yang berfokus untuk pengetahuan tentang aplikasi berkelanjutan dan bersih saat ini. Sampah kota dan bahan baku biomassa lainnya dapat diubah menjadi energi dan bahan karbon untuk menggantikan [2].

Tandan kosong sawit (TKS) merupakan bahan sisa yang dihasilkan oleh industri minyak kelapa sawit [3]. Penggunaan TKS atau biomassa sisa lainnya sebagai sumber bahan bakar secara langsung menghadirkan beberapa masalah. Faktor-faktor seperti kadar air, nilai energi yang rendah, komponen volatile yang cukup banyak, dan kerentanan terhadap dekomposisi adalah penyebab masalah. Oleh karena itu meningkatkan kualitas limbah TKS mengubahnya menjadi produk bernilai seperti *hydrochar* adalah penting sebelum mempertimbangkan pemanfaatan [4].

Hydrothermal carbonization (HTC) muncul sebagai Teknik yang menjajikan untuk mengubah biomassa basah menjadi produk dengan banyak aplikasi. HTC berkembang melalui serangkaian reaksi fase padat dan cair seperti hidrolisis, dehidrasi, dekarboksilasi, kondensasi, polimerisasi dan aromatisasi [5]. HTC memiliki dampak lingkungan yang rendah dibandingkan dengan teknik konversi termokimia lainnya karena suhu operasinya yang relatif rendah dan menghasilkan produk yang memiliki karakteristik pembakaran dan kinetika reaksi yang lebih baik [6].

Belimbing wuluh merupakan tanaman yang termasuk dalam keluarga

oxalidaceae. Dikenal juga sebagai pohon sorrel atau pohon timun. Tanaman tropis ini memiliki tinggi 10-15 m yang menghasilkan buah langka dan eksotis. Belimbing wuluh memiliki bentuk silinder. Belimbing wuluh salah satu buah yang kaya nutrisi dan dikenal sebagai sumber asam askorbat, serat, abu, protein, kelembapan, vitamin, dan mineral yang melimpah [7].

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, peneliti menganalisis pengaruh suhu terhadap bahan baku yaitu tandan kosong sawit yang akan mempengaruhi pada hasil proses *hydrothermal carbonization*. Penelitian ini bertujuan mengkaji produksi *hydrochar* dari biomassa tandan kosong sawit menggunakan solven air perasan belimbing wuluh. Peningkatan suhu akan mempengaruhi pada karakter fisiknya seperti porositas dan luas permukaan. Potensi produk akhir pada proses ini yaitu bisa menjadidi bahan baku karbon aktif yang bisa dibuat untuk pengolahan air atau pemurnian, pada industri kimia karbon aktif bisa dibuat untuk mempercepat reaksi kimia tertentu. Penelitian ini diharapkan dapat memberi manfaat bagi ilmu pengetahuan konversi energi dengan memanfaatkan limbah tandan kosong sawit sebagai produk alternatif.

MATERIAL dan METODE

Pada penelitian ini bahan yang digunakan yaitu tandan kosong sawit (TKS) yang diperoleh dari pabrik pengolahan kelapa sawit di Kalimantan dan belimbing wuluh yang diperoleh dari kebun tetangga, pada TKS di keringkan dalam oven menggunakan suhu 105°C selama 24 jam untuk menghilangkan kadar air yang sangat tinggi. Selanjutnya di haluskan menggunakan blender dan diayak sampai ukuran yang sudah ditentukan yaitu kurang dari 200 mesh. Pada belimbing wuluh, buah di haluskan menggunakan mesin blender dan di saring menggunakan kertas filter kemudian air dari hasil saringan di simpan

ke botol yang tertutup rapat dan dimasukkan kedalam lemari pendingin.

HTC dari biomassa tandan kosong sawit sebagai bahan baku dan belimbing wuluh sebagai solven atau pelarut organik. Untuk setiap proses HTC menggunakan reaktor *mini autoclave* berlapis politetrafluoroetilen (PTFE) berkapasitas 100 mL. Setiap perlakuan menggunakan rasio 1:10 atau 3 gram biomassa dan 30 mL air perasan belimbing wuluh yang dimasukkan kedalam PTFE dan diaduk hingga homogen. Reaktor yang berisi sampel kemudian ditutup rapat kemudian dipanaskan menggunakan oven. Untuk mengevaluasi pengaruh suhu, reaktor dipanaskan dengan suhu 180°C dan 210°C dengan waktu selama 8 jam. perlu dicatat bahwa biasanya proses HTC dilakukan pada suhu hingga 250°C, suhu maksimum proses yang dipakai pada penelitian ini yaitu 210°C karena suhu maksimal yang diizinkan untuk reaktor adalah 230°C. Setelah pemanasan reaktor selesai, reaktor didiamkan selama 24 jam. *hydrochar* dikeluarkan dari reaktor kemudian dinetralkan menggunakan air suling dan dikeringkan menggunakan oven dengan suhu 105°C dengan waktu 24 jam.

Untuk mengetahui karakterisasi material di uji menggunakan metode *brunauer-emmett-teller* (BET) menggunakan gas nitrogen N₂. Metode ini terdiri dari dua langkah, pada langkah pertama *isotherm fisisorpsi* perlu ditransformasikan dalam plot BET. Dimana kapasitas monolayer diperoleh. Pada langkah kedua luas permukaan bisa dihitung [8]. Perhitungan tersebut menggunakan kapasitas *monolayer* yang ditentukan secara eksperimental dalam kombinasi dengan luas penampang teoritis N₂ melalui persamaan BET berikut:

$$\frac{V(P_0 - P)}{P} = \frac{V_m \cdot C}{1} + \frac{V_m \cdot C}{C - 1} \cdot \left(\frac{P_0}{P}\right) \quad [9]$$

Dimana:

V: Volume gas yang teradsorpsi

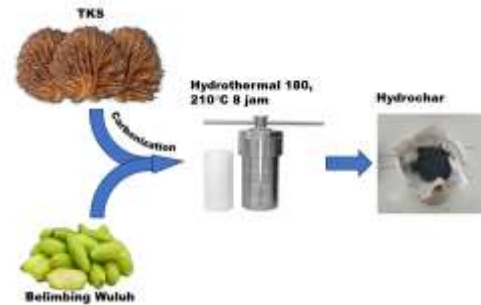
P₀ : tekanan saturasi gas adsorbat

P : Tekanan parsial gas adsorbat

V_m: Volume monolayer

C : Konstanta BET

INSTALASI PENELITIAN



Gambar 1 Instalasi HTC

HASIL dan PEMBAHASAN

Analisis struktur pori mencakup perbandingan antara RAW material, HTC 180°C, dan HTC 210°C dengan membandingkan hasil dari luas permukaan, volume pori, dan diameter pori. Data ini digunakan untuk mengetahui potensi material *hydrochar* sebagai adsorben, katalis maupun paa pengaplikasian lain. Misalnya pada pori yang optimal memungkinkan akses reaktan dan meningkatkan efisiensi reaksi, sementara material penyerap atau adsorben pori berkontribusi pada kemampuan menyerap gas atau cairan.

Berdasarkan data yang diperoleh pada tabel 1 material RAW memiliki luas permukaan BET sebesar 4,2803 m²/g, volume pori sebesar 0,009774 cm³/g, dan diameter pori sebesar 91,34 Å. Nilai-nilai ini menunjukkan bahwa RAW material memiliki pori-pori yang terbatas dengan struktur yang lebih padat, sehingga kurang optimal untuk aplikasi yang memerlukan kapasitas adsorpsi atau aktivitas katalitik yang tinggi. Setelah perlakuan pada HTC 180°C pada tabel 1.1, luas permukaan BET meningkat hampir dua kali lipat menjadi 8,3707 m²/g, volume pori meningkat

signifikan menjadi 0,050626 m³/g, dan diameter pori juga bertambah besar hingga 241,919 Å. Hal ini menunjukkan bahwa adanya perlakuan suhu menghasilkan mesopori yang lebih dominan dan meningkatkan kapasitas material untuk adsorpsi molekul.

Pada HTC 210°C pada tabel 1, luas permukaan BET meningkat lebih jauh hingga mencapai 15,6798 m²/g, sedangkan volume pori juga bertambah menjadi 0,074866 cm³/g. Namun pada diameter pori mengalami sedikit penurunan menjadi 190,986 Å, dibandingkan dengan HTC 180°C. Hal ini menunjukkan bahwa pada suhu yang lebih tinggi terjadi pembentukan pori-pori yang lebih banyak tetapi dengan restrukturisasi yang mengurangi ukuran rata-rata pori. Kondisi ini meningkatkan kapasitas adsorpsi material karena luas permukaan yang lebih lebar, namun dengan ukuran pori yang masih berada dalam rentang mesopori.

Tabel 1 hasil uji BET karakteristik material

Material	RAW	HTC 180	HTC 210
Luas	4,2803	8,3707	15,6798
Permukaan BET (m ² /g)			
Volume pori (m ³ /g)	0,009774	0,050626	0,074866
Average pore diameter (Å)	91,340	241,918	190,986

Kecenderungan yang terlihat dari data ini adalah bahwa peningkatan suhu perlakuan menyebabkan peningkatan luas permukaan BET dan volume pori secara signifikan, dengan perubahan diameter pori yang menunjukkan performa terbaik karena luas permukaan dan volume pori tertinggi. Pada penelitian yang dilakukan oleh [10] dengan proses yang sama yaitu HTC namun memiliki perbedaan pada solven menggunakan air deionisasi, hydrochar yang dihasilkan pada suhu 150°C mempunyai luas permukaan 6,079 m²/g, volume pori 0,019 cm³/g, dan rata-rata diameter pori 54,9 Å, dan pada variasi suhu 250°C mempunyai luas permukaan 8,033

m²/g, volume pori 0,043 cm³/g, dan rata-rata diameter pori 37,7 Å, berdasarkan penelitian yang dilakukan variasi peningkatan suhu dapat meningkatkan karakteristik material, namun penggunaan solven asam organik dapat menjadikan material dengan karakteristik yang lebih bagus walaupun suhu yang dipakai relatif lebih rendah.

KESIMPULAN

Peningkatan suhu berpengaruh terhadap profil struktur pori, secara signifikan meningkatkan luas permukaan, volume pori, dan kapasitas adsorpsi material. RAW material memiliki struktur pori terbatas dengan luas permukaan dan volume pori kecil, sehingga kurang optimal untuk aplikasi adsorpsi atau katalis. Pada HTC 180°C menghasilkan mesopori yang dominan dengan diameter pori lebih besar, cocok untuk aplikasi tertentu. Karakteristik material yang terbaik ditunjukkan oleh HTC 210°C dengan luas permukaan dan volume pori tertinggi, meskipun diameter pori sedikit menurun, menjadikan ideal untuk aplikasi yang memerlukan material adsorben atau katalis dengan efisiensi tinggi.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis menyampaikan rasa terimakasih yang mendalam, atas dukungan dan bantuan materi maupun teori pada saat penelitian kepada bapak Akhmad Faruq Alhikami, S.T., M.Sc., bapak Ir.H. Margianto, M.T., dan ibu Dr. Ena Marlina, S.T., M.T., serta keluarga dan teman-teman penelitian yang selalu *support* dalam bentuk doa maupun tindakan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. E. Putra, D. Permana, and Djaenudin, "Prediction of higher heating value of solid fuel produced by hydrothermal carbonization of empty fruit bunch and various biomass feedstock," *J Mater Cycles Waste Manag*, vol. 24, no. 6, pp.

- 2162–2171, Nov. 2022, doi: 10.1007/s10163-022-01463-0.
- [2] N. Kaewtrakulchai, S. Chanpee, S. Jadsadajerm, S. Wongrerkdee, K. Manatura, and A. Eiad-Ua, “Co-hydrothermal carbonization of polystyrene waste and maize stover combined with KOH activation to develop nanoporous carbon as catalyst support for catalytic hydrotreating of palm oil,” *Carbon Resources Conversion*, vol. 7, no. 4, Dec. 2024, doi: 10.1016/j.crcon.2024.100231.
- [3] R. Tri Yulianti, F. Destyorini, Y. Irmawati, A. Ali Umar, V. Fauzia, and R. Yudianti, “Heteroatom SiO₂-N/S co-dopant on hierarchical meso/macroporous palm empty fruit bunches carbon for flexible solid-state supercapacitors,” *Materials Science and Engineering: B*, vol. 303, May 2024, doi: 10.1016/j.mseb.2024.117282.
- [4] N. Kaewtrakulchai *et al.*, “Parametric study on mechanical-press torrefaction of palm oil empty fruit bunch for production of biochar,” *Carbon Resources Conversion*, p. 100285, Oct. 2024, doi: 10.1016/j.crcon.2024.100285.
- [5] Y. Tong, W. Liu, Z. Wang, J. Liu, and J. Zhou, “Method for preparing high-purity struvite by extracting nitrogen and phosphorus from sewage sludge using a coupled process of hydrothermal carbonization and oxalic acid leaching,” *Sustain Chem Pharm*, vol. 43, Feb. 2025, doi: 10.1016/j.scp.2024.101885.
- [6] S. R. Periyavaram, L. Uppala, S. Sivaprakash, and P. H. P. Reddy, “Thermal behaviour of hydrochar derived from hydrothermal carbonization of food waste using leachate as moisture source: Kinetic and thermodynamic analysis,” *Bioresour Technol*, vol. 373, Apr. 2023, doi: 10.1016/j.biortech.2023.128734.
- [7] M. H. Shafie, R. Yusof, and C. Y. Gan, “Deep eutectic solvents (DES) mediated extraction of pectin from Averrhoa bilimbi: Optimization and characterization studies,” *Carbohydr Polym*, vol. 216, pp. 303–311, Jul. 2019, doi: 10.1016/j.carbpol.2019.04.007.
- [8] L. López-Pérez, V. Zarubina, and I. Melián-Cabrera, “The Brunauer–Emmett–Teller model on aluminosilicate mesoporous materials. How far is it from the true surface area?,” *Microporous and Mesoporous Materials*, vol. 319, May 2021, doi: 10.1016/j.micromeso.2021.111065.
- [9] T. W. Widayati, D. Jaya, and A. Danujatmiko, “Characterization of Activated Carbon from Pyrolysis Process of Bamboo Base Waste (*Dendrocalamus asper*),” *CHEMICA: Jurnal Teknik Kimia*, vol. 7, no. 1, p. 63, Jun. 2020, doi: 10.26555/chemica.v7i1.15876.
- [10] G. K. Parshetti, S. Kent Hoekman, and R. Balasubramanian, “Chemical, structural and combustion characteristics of carbonaceous products obtained by hydrothermal carbonization of palm empty fruit bunches,” *Bioresour Technol*, vol. 135, pp. 683–689, 2013, doi: 10.1016/j.biortech.2012.09.042.