

Analisis profil degradasi massa pada *hydrochar* menggunakan teknik *Hydrothermal Carbonization* dari limbah tandan kosong sawit

Muhammad Abdul Qodir¹, Akhmad Faruq Alhikami², Margianto³

¹²³ Universitas Islam Malang

email: muhamadabdulqodir010402@gmail.com, alhikami@unisma.ac.id,
margianto@unisma.ac.id

ABSTRAK

Tandan kosong sawit (TKS) merupakan limbah yang memiliki potensi besar sebagai sumber energi terbarukan. Namun, kandungan air yang tinggi dalam TKS menjadi tantangan dalam pemanfaatannya. *Hydrothermal Carbonization* (HTC) merupakan metode yang efektif dalam konversi biomassa dengan kadar air tinggi menjadi *hydrochar* yang lebih stabil. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis profil degradasi massa *hydrochar* yang dihasilkan dari tandan kosong kelapa sawit (TKS) melalui proses *Hydrothermal Carbonization* (HTC). Proses HTC dilakukan dalam reaktor mini autoclave pada suhu 180°C dan 210°C selama 8 jam, dengan menggunakan air perasan belimbing wuluh sebagai pelarut organik. Analisis degradasi massa dilakukan menggunakan *Thermogravimetric Analysis* (TGA) dengan pemanasan hingga 1000°C dalam atmosfer oksigen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses HTC meningkatkan stabilitas termal *hydrochar* dengan menggeser degradasi massa ke suhu yang lebih tinggi. Sampel raw material mengalami degradasi utama pada suhu 178,26–519,39°C dengan kehilangan massa sebesar 76,99%. Setelah perlakuan HTC, *hydrochar* dari suhu 180°C mengalami kehilangan massa total 97,773%, sedangkan *hydrochar* dari suhu 210°C mengalami kehilangan massa 95,289%. HTC 210°C menghasilkan *hydrochar* dengan residu karbon lebih tinggi dan stabilitas termal yang lebih baik dibandingkan HTC 180°C. Secara keseluruhan, HTC meningkatkan ketahanan termal *hydrochar*, menjadikannya lebih sesuai untuk aplikasi energi seperti biochar atau bahan bakar padat.

Kata kunci: *Hydrothermal Carbonization*, tandan kosong sawit, *thermogravimetric analysis*, profil degradasi massa, pelarut organik

ABSTRACT

Empty Fruit Bunches (EFB) are biomass waste with great potential as a renewable energy source. However, the high moisture content in EFB poses a challenge for its utilization. Hydrothermal Carbonization (HTC) is an effective method for converting high-moisture biomass into more stable hydrochar. This study aims to analyze the mass degradation profile of hydrochar produced from EFB through the HTC process. HTC was carried out in a mini autoclave reactor at temperatures of 180°C and 210°C for 8 hours, using starfruit juice as an organic solvent. Mass degradation analysis was performed using Thermogravimetric Analysis (TGA) with heating up to 1000°C in an oxygen atmosphere. The results showed that HTC improved the thermal stability of hydrochar by shifting mass degradation to higher temperatures. The raw material sample experienced primary degradation at 178.26–519.39°C with a mass loss of 76.99%. After HTC treatment, hydrochar at 180°C had a total mass loss of 97.773%, while hydrochar at 210°C had a mass loss of 95.289%. HTC at 210°C produced hydrochar with higher carbon residue and better thermal stability compared to HTC at 180°C. Overall, HTC enhances the thermal resistance of hydrochar, making it more suitable for energy applications such as biochar or solid fuel

Keyword: *Hydrothermal Carbonization, empty fruit bunches, thermogravimetric analysis, thermogravimetric mass loss profile, organic solvent.*

PENDAHULUAN

Salah satu biomassa yang memiliki potensi besar untuk dikembangkan menjadi energi terbarukan adalah tandan kosong sawit[1], industri kelapa sawit menghasilkan sejumlah besar residu sebagai limbah padat. Limbah padat ini terdiri dari tandan kosong sawit (*Empty Fruit Bunches/EFB*), serat mesokrap (*Mesocarp Fiber/MF*), dan cangkang inti sawit (*Palm Kernel Shells/ PKS*). Residu kelapa sawit memiliki potensi yang besar untuk diubah menjadi produk energi yang lebih bermanfaat.[2][3]

Dalam proses pengembangan energi terbarukan dan seiring dengan meningkatnya perhatian terhadap dampak negatif bagi lingkungan, yang disebabkan dari limbah hasil pengolahan kelapa sawit, penting bagi masyarakat khususnya di Indonesia untuk memahami manfaat pengolahan dan penanganan limbah yang efisien dan ramah lingkungan. Tandan kosong kelapa sawit (TKS) merupakan limbah yang dihasilkan dari proses produksi dari minyak kelapa sawit, limbah biomassa ini memiliki potensi tinggi sebagai sumber karbon terbarukan, namun TKS mengandung kadar air yang cukup tinggi, oleh karena itu memerlukan langkah penghilangan kadar air sebelum dapat diubah menjadi produk yang lebih bermanfaat melalui proses termokimia.[4]

Salah satu metode yang menawarkan solusi inovatif dalam pengolahan limbah biomassa dengan menghasilkan produk yang bermanfaat dan berkelanjutan, dengan keunggulan efisiensi energi dan dampak negatif bagi lingkungan yang minimal, dan juga merupakan salah satu metode efektif untuk mengonversi biomassa dengan kandungan kadar air yang tinggi menjadi

produk berbasis karbon[5]. *Hydrothermal Carbonization* (HTC) berpotensi menjadi salah satu metode kunci dalam transisi menuju sumber energi yang lebih bersih dan terbarukan. HTC adalah proses termokimia yang melibatkan pemanasan bahan baku dalam reaktor *autoclave* dengan penambahan pelarut cair pada suhu antara 180 °C hingga 350 °C dibawah tekanan autogenous (2 – 6 Mpa) proses ini bertujuan untuk mengubah biomassa menjadi produk yang lebih stabil seperti *hydrochar*. HTC merupakan metode yang menjanjikan untuk mengubah biomassa dengan kandungan kadar air yang tinggi menjadi produk dengan berbagai kegunaan, terutama dalam sektor lingkungan dan energi [6][7]

Salah satu pelarut organik yang berpotensi untuk digunakan dalam proses HTC adalah air perasan belimbing wuluh karena dapat meningkatkan efisiensi reaksi dan memengaruhi karakteristik produk akhir yang disebabkan oleh kandungan asam organik yang tinggi terutama asam oksalat, yang bertindak sebagai katalis alami. Selain sebagai katalis alami, penggunaan air perasan belimbing wuluh juga memiliki nilai ekonomi dan lingkungan.[8], [9]

METODE DAN MATERIAL

Studi ini menggunakan biomassa tandan kosong sawit yang diperoleh dari pabrik kelapa sawit di Kalimantan dan menggunakan pelarut organik dari perasan air belimbing wuluh. Tandan kosong sawit dibersihkan dan dikeringkan dibawah sinar matahari, selanjutnya dikeringkan kembali menggunakan oven dengan suhu 105°C selama 24 jam. Setelah dikeringkan biomassa dihaluskan dan diayak menggunakan ayakan 200 mesh.

Proses HTC dilakukan menggunakan reaktor *mini autoclave* selama 8 jam dengan variasi suhu 180°C dan 210°C. Biomassa dan solven dicampurkan dengan rasio 1:10 (1 gram TKS 10 mL solven), setelah waktu reaksi, reaktor didinginkan sampai dengan suhu ruang. Selanjutnya *hydrochar* dinetralkan menggunakan aquadest sampai PH menjadi netral, setelah dinetralkan dilakukan pengeringan kembali dengan suhu 105°C selama 24 jam, dan dilakukan beberapa kali pengulangan sampai *hydrochar* yang dihasilkan cukup untuk kebutuhan *Thermogravimetry Analysis* (TGA). Selanjutnya dilakukan analisis TGA pada RAW material TKS, hasil *hydrochar* dari proses HTC 180°C, dan 210°C untuk mengetahui profil degradasi massa. Analisis TGA dilakukan pada suhu maksimal 1000°C dengan *heating rate* 10°C/menit dan oksigen sebagai atmosfer reaktif.

INSTALASI PENELITIAN



Gambar 1 instalasi penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

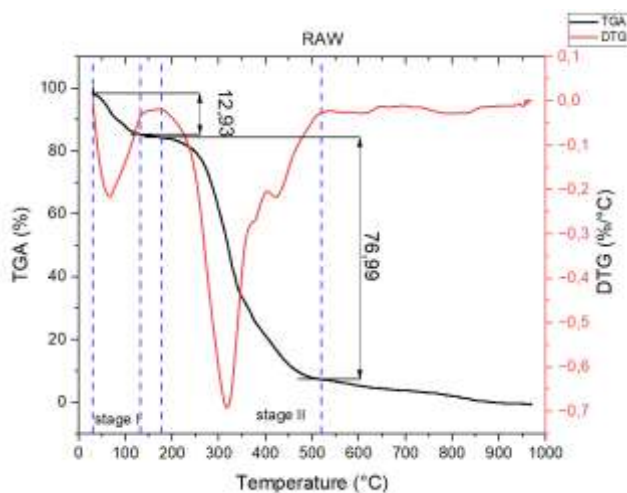
Berdasarkan hasil studi yang dilakukan selama proses pengambilan data, dapat disajikan dalam bentuk penyajian yang sesuai dengan hasil produksi yang dilakukan.

Profil degradasi massa

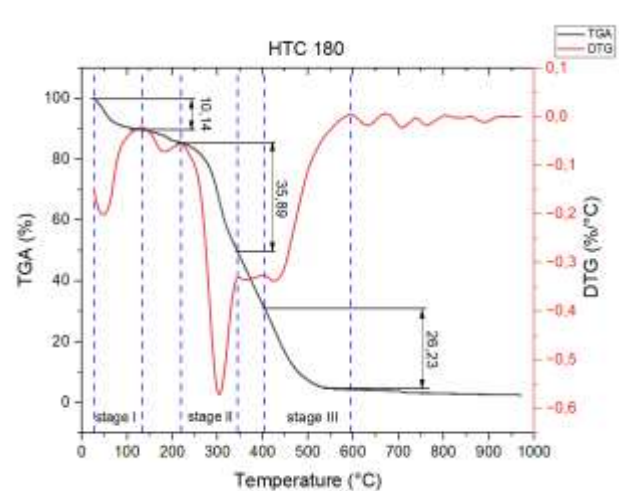
Stage I menunjukkan penurunan massa yang sedikit, hal ini disebabkan oleh penguapan air atau komponen volatil lainnya. Stage II mengindikasikan degradasi massa yang lebih besar, pada rentang suhu ini terjadi dekomposisi hemiselulosa dan selulosa. Stage III menunjukkan dekomposisi lignin dan pembakaran residu karbon. Sampel RAW material menunjukkan degradasi massa total 100% pada suhu 879°C, sedangkan HTC 180°C penurunan massa 97.773% saat suhu mencapai 967°C dan HTC 210 penurunan massa mencapai 95,289% pada saat suhu 967°C, ini menunjukkan bahwa *hydrochar* dari HTC 210 memiliki kandungan residu karbon paling tinggi. Proses HTC 210 lebih efektif dalam peningkatan karbon tetap dan menghasilkan *hydrochar* dengan stabilitas termal yang lebih baik dibandingkan dengan HTC 180. Pada gambar 2 profil degradasi massa diamati untuk menentukan laju kehilangan massa, yang menandakan pelepasan zat volatil, dekomposisi termal, dan pembentukan residu abu. Profil degradasi massa, menunjukkan perubahan massa seiring dengan peningkatan suhu, yang mencerminkan proses degradasi termal yang terjadi. HTC 180 dan 210 untuk stage II menunjukkan degradasi massa yang lebih kecil, hal ini menandakan pengurangan volatilitas dan peningkatan kandungan karbon karena perlakuan dari proses HTC. HTC 210 memiliki residu karbon tertinggi dengan stabilitas termal terbaik, diikuti oleh HTC 180, sedangkan bahan mentah menunjukkan stabilitas termal yang paling rendah. Kecepatan penurunan massa dapat dilihat dari kemiringan kurva pada grafik. semakin curam kemiringan, semakin cepat proses degradasi berlangsung[10]. Pada

Tabel 1 menjelaskan tentang degradasi massa dari setiap stage, Tandan kosong sawit (TKS) mengalami perubahan signifikan setelah perlakuan HTC pada suhu 180°C dan 210°C Sampel RAW menunjukkan ada dua tahap degradasi utama. Stage I 30,48 – 131,92°C degradasi massa pada stage ini sebesar 12,93% yang terkait dengan penguapan air dan volatil ringan, serta stage II terjadi di suhu 178,26 – 519,39°C dan degradasi sebesar 76,99% yang menandakan dekomposisi hemiselulosa, selulosa, dan sebagian lignin. Setelah perlakuan HTC. Pada HTC 180 kehilangan massa pada tahap awal 10,14% ini lebih kecil dibandingkan dengan RAW material stage II (220,58 – 344,6°C) dengan kehilangan massa sebesar 35,89% dan stage III (404,51 – 594,82°C) dan kehilangan massa sebesar 26,23%, yang

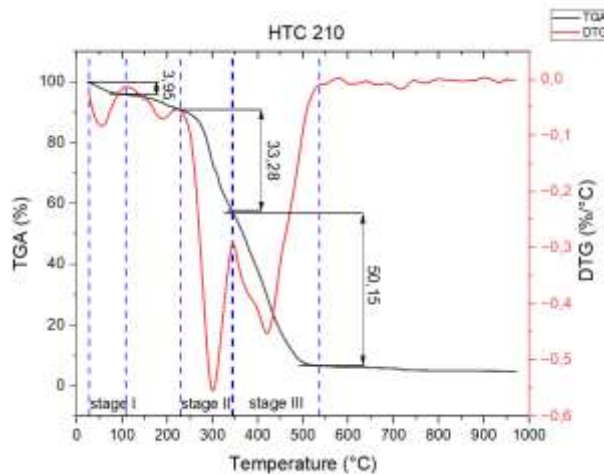
menunjukkan peningkatan kandungan karbon dan material yang stabil. HTC 210°C degradasi pada tahap awal hanya sebesar 3,95% dengan dekomposisi utama terjadi pada stage III yang terjadi di suhu 346,07 – 536,65°C dengan jumlah degradasi massa mencapai 50,15% menunjukkan dominasi lignin dan karbonisasi lebih tinggi, Secara keseluruhan, HTC meningkatkan ketahanan termal TKS dengan mengurangi volatil ringan dan menggeser degradasi utama ke suhu yang lebih tinggi, menjadikannya lebih cocok untuk aplikasi energi seperti biochar atau bahan bakar padat dengan stabilitas termal yang lebih baik.



(a)



(b)



(c)

Gambar 2 profil degradasi massa (a) raw material (b) HTC 180 (c) HTC 210

Table 1 Tabel degradasi masa dan range temperature

Material	Weight loss total %	Stage I		Stage II		Stage II	
		Range T°C	Weight loss %	Range T°C	Weight loss %	Range T°C	Weight loss %
RAW	100	30,48 – 131,92	12,93	178,26 – 519,39	76,99	-	-
HTC 180	97,773	27,69 – 134,53	10,14	220,58 – 344,6	35,89	404,51 – 594,82	26,23
HTC 210	95,289	27,04 – 108,72	3,95	229,08 – 342,96	33,28	346,07 – 536,65	50,15

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa *Hydrothermal Carbonization* (HTC) dapat meningkatkan karakteristik termal tandan kosong kelapa sawit (TKS) dengan mengurangi volatil ringan dan meningkatkan kandungan karbon dalam *hydrochar* yang dihasilkan. Analisis TGA menunjukkan bahwa sampel RAW mengalami degradasi utama pada suhu 178,26 – 519,39°C dengan kehilangan massa sebesar 76,99% yang menunjukkan dominasi hemiselulosa dan selulosa dalam biomassa awal. Setelah perlakuan HTC, terjadi pergeseran degradasi massa ke suhu yang lebih tinggi, yang lebih tinggi, yang menandakan peningkatan stabilitas termal. HTC 180 menghasilkan *hydrochar* dengan kehilangan massa total 97.773% dengan

tahap degradasi utama terjadi pada rentang suhu 220,58 – 344,6°C (35,89%) dan 404,51 – 594,82°C (26,23%) yang menunjukkan peningkatan kandungan karbon. Sementara HTC 210 kehilangan massa total 95,289% dan dominasi dekomposisi pada Stage III (346,07 – 536,65°C, 50,15%), yang menunjukkan karbonisasi lebih lanjut dan kandungan residu karbon yang lebih tinggi. Secara keseluruhan, HTC meningkatkan stabilitas termal dan memperbaiki karakteristik pembakaran *hydrochar* dari TKS. HTC pada suhu 210°C terbukti lebih efektif dalam meningkatkan kandungan karbon tetap, yang menjadikan *hydrochar* lebih cocok untuk aplikasi energi seperti bahan bakar padat dengan performa termal yang lebih baik dibandingkan HTC 180°C.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan penuh rasa syukur, penulis mengucapkan banyak terimakasih yang sebesar besarnya kepada Bapak Akhmad Faruq Alhikami, S.T., M.Sc., Bapak Ir. H. Margianton, M.T., dan ibu Dr. Ena Marlina, S.T., M.T. serta keluarga dan semua pihak yang telah memberikan dukungan dan kontribusi dalam penyelesaian penelitian ini

DAFTAR PUSTAKA

- [1] L. Indriati, N. Elyani, and S. F. Dina, "Empty fruit bunches, potential fiber source for Indonesian pulp and paper industry," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, IOP Publishing Ltd, Dec. 2020. doi: 10.1088/1757-899X/980/1/012045.
- [2] M. Ameen *et al.*, "Effect of acid catalysts on hydrothermal carbonization of Malaysian oil palm residues (leaves, fronds, and shells) for hydrochar production," *Biomass Convers Biorefin*, vol. 12, pp. 103–114, 2022, doi: 10.1007/s13399-020-01201-2/Published.
- [3] H. E. Putra *et al.*, "Hydrothermal treatment of empty fruit bunches for enhanced solid fuel production using palm oil mill effluent as a liquid stream," *Bioresour Technol Rep*, vol. 25, Feb. 2024, doi: 10.1016/j.biteb.2024.101761.
- [4] W. Sisuthog, L. Attanatho, and C. Chaiya, "Conversion of empty fruit bunches (EFBs) by hydrothermal carbonization towards hydrochar production," *Energy Reports*, vol. 8, pp. 242–248, Dec. 2022, doi: 10.1016/j.egyr.2022.10.183.
- [5] 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.
- [6] S. Fakudze, Y. Wei, P. Zhou, J. Han, and J. Chen, "Synergistic effects of process-generated organic acids during co-hydrothermal carbonization of watermelon peel and high-sulfur coal," *J Environ Chem Eng*, vol. 10, no. 3, Jun. 2022, doi: 10.1016/j.jece.2022.107519.
- [7] S. Nizamuddin, N. S. Jaya Kumar, J. N. Sahu, P. Ganesan, N. M. Mubarak, and S. A. Mazari, "Synthesis and characterization of hydrochars produced by hydrothermal carbonization of oil palm shell," *Canadian Journal of Chemical Engineering*, vol. 93, no. 11, pp. 1916–1921, Nov. 2015, doi: 10.1002/cjce.22293.
- [8] M. Dominic C D *et al.*, "Nanosilica from Averrhoa bilimbi juice pre-treated rice husk: Preparation and characterization," *J Clean Prod*, vol. 413, Aug. 2023, doi: 10.1016/j.jclepro.2023.137476.
- [9] A. Kurniasih, D. A. Pratiwi, and M. Amin, "PEMANFAATAN AMPAS TEBU SEBAGAI ARANG AKTIF DENGAN AKTIVATOR LARUTAN BELIMBING WULUH (Averrhoa bilimbi L.)," *Ruwa Jurai: Jurnal Kesehatan Lingkungan*, vol. 14, no. 2, p. 56, Jan. 2021, doi: 10.26630/rj.v14i2.2287.
- [10] M. Raza, B. Abu-Jdayil, A. H. Al-Marzouqi, and A. Inayat, "Kinetic and thermodynamic analyses of date palm surface fibers pyrolysis using

Coats-Redfern method,” *Renew Energy*, vol. 183, pp. 67–77, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.renene.2021.10.065.