

KARAKTERISTIK PEMBAKARAN *HYDROCHAR* TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT DAN LIMBAH AIR TAHU DARI PROSES *HYDROTHERMAL CARBONIZATION*

M Adam Ibrahim¹, Akhmad Faruq Alhikami² Ena Marlina³

¹ Teknik Mesin, Universitas Islam Malang
e-mail : 22101052058@unisma.ac.id

² Teknik Mesin, Universitas Islam Malang
e-mail : alhikami@unisma.ac.id

³ Teknik Mesin, Universitas Islam Malang
e-mail : ena.marlina@unisma.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan menganalisis karakteristik pembakaran *hydrochar* yang dihasilkan dari Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) melalui proses *Hydrothermal Carbonization* (HTC), menggunakan limbah air tahu sebagai solven (co-substrat). TKKS dan limbah cair organik diolah pada variasi suhu HTC, yaitu 180°C dan 210°C (rasio 1:10). Pengujian karakteristik pembakaran dilakukan menggunakan Termogravimetri (TGA-DTA) untuk menentukan parameter *Ignition Index* (*Di*) dan *Combustion Index* (*S*). Hasil menunjukkan bahwa proses HTC meningkatkan stabilitas termal material, ditandai dengan kenaikan suhu awal pembakaran (*Ti*) dari 237,34°C (bahan mentah) menjadi 272,11°C (HTC 210°C). Analisis indeks pembakaran menyimpulkan bahwa perlakuan HTC pada suhu 180°C menghasilkan kinerja pembakaran yang paling optimal (dengan *S* = 44,624 dan *Di* = 123,81), menunjukkan pembakaran yang lebih reaktif dan efisien. Peningkatan suhu menjadi 210°C justru menurunkan indeks pembakaran (*S* = 38,315), mengindikasikan karbonisasi berlebihan. Disimpulkan, suhu HTC 180°C adalah kondisi optimal untuk menghasilkan *hydrochar* berkualitas tinggi dari kombinasi TKKS dan limbah air tahu.

Kata Kunci: *Hydrothermal Carbonization, Hydrochar, Tandan Kosong Kelapa Sawit, Limbah Air Tahu, Karakteristik Pembakaran.*

ABSTRACT

This study aims to analyze the combustion characteristics of hydrochar produced from empty palm fruit bunches (TKKS) through the Hydrothermal Carbonization (HTC) process, using soybean waste water as a solvent (co-substrate). TKKS and organic liquid waste were processed at varying HTC temperatures, namely 180°C and 210°C (ratio 1:10). The combustion characteristics were tested using Thermogravimetry (TGA-DTA) to determine the Ignition Index (Di) and Combustion Index (S) parameters. The results showed that the HTC process increased the thermal stability of the material, as indicated by an increase in the initial combustion temperature (Ti) from 237.34°C (raw material) to 272.11°C (HTC 210°C). Combustion index analysis concluded that HTC treatment at 180°C produced the most optimal combustion performance (with S = 44.624 and Di = 123.81), indicating more reactive and efficient combustion. Increasing the temperature to 210°C actually decreased the combustion index (S = 38.315), indicating excessive carbonization. It was concluded that an HTC temperature of 180°C is the optimal condition for producing high-quality hydrochar from a combination of TKKS and soybean curd waste.

Keywords: *Hydrothermal Carbonization, Hydrochar, Empty Fruit Bunch, Soybean Wastewater, Combustion Characteristics.*

PENDAHULUAN

Kelapa sawit kini menjadi salah satu tanaman pangan utama yang kaya akan minyak dan dapat tumbuh dengan baik di berbagai daerah tropis di Asia Tenggara, termasuk Indonesia. Berdasarkan data

Gabungan Pengusaha Kelapa Sawit Indonesia (GAPKI), pada tahun 2022 industri kelapa sawit menyumbang US\$39,07 miliar dengan total area perkebunan kelapa sawit mencapai 16,38

juta hektar, Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) sering diperlakukan sebagai bahan limbah dan dibakar atau dibiarkan membusuk di ladang terbuka, yang menyebabkan masalah lingkungan seperti polusi udara dan emisi gas rumah kaca.[1][2][3]

Pencernaan anaerobik menawarkan pendekatan yang lebih berkelanjutan dan efisien untuk mengelola limbah TKKS sambil menghasilkan energi terbarukan dalam metana. TKKS terdiri dari beberapa kandungan, 38–60% selulosa, 20–38% hemiselulosa, dan 10–25% lignin, sehingga menjadikannya sebagai bahan baku potensial untuk pencernaan anaerobik. Peran lignin sebagai penghalang dalam proses dekomposisi selulosa pada biomassa lignoselulosa. Selulosa yang terikat dalam matriks alami biomassa menunjukkan reaktivitas pembakaran yang lebih rendah dibandingkan selulosa murni, karena lignin berfungsi sebagai 'perisai pelindung' yang menghambat degradasi termal.[2][4][5]

Selain menggunakan TKKS pada penelitian ini menggunakan campuran SOLVEN limbah air perasan tahu karena limbah cair industri tahu terdapat dalam jumlah besar di Indonesia. Tingkat konsumsi tahu di Indonesia mencapai 7,4 kg/orang/tahun, Air limbah dari produksi tahu memiliki kandungan organik yang sangat tinggi karena mengandung banyak residu kedelai dan produk lainnya. Limbah cair tahu mengandung senyawa organik yang tinggi, termasuk karbohidrat dan protein. Karakteristik limbah cair tahu meliputi suhu tinggi 48 °C dengan pH 4,3, kandungan COD 16000 mg/L, dan kandungan protein sekitar 4000 mg/L.[6][7]

Penelitian ini menggunakan *Hydrothermal Carbonization* (HTC), ditemukan bahwa peningkatan suhu HTC menurunkan fluks panas kritis dan suhu penyalaan, namun meningkatkan resistivitas termal, sehingga *hydrochar* menjadi lebih stabil dan kurang mudah terbakar. Fluks panas yang lebih tinggi mempercepat penyalaan dan menurunkan

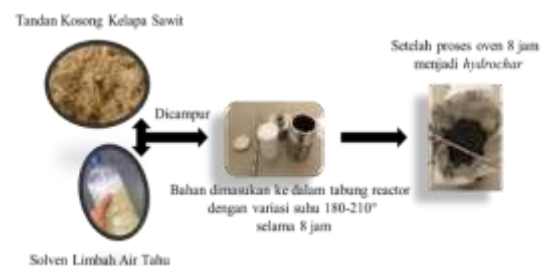
resistivitas termal. Analisis bahaya termal menunjukkan *hydrochar* memiliki risiko lebih rendah dibanding bahan mentah. HTC dianggap sebagai metode yang efisien untuk pemulihan energi dari biomassa, karena dapat mengolah bahan baku yang memiliki kadar air tinggi tanpa memerlukan pengeringan awal. Proses ini tidak hanya menghasilkan *hydrochar* dengan nilai kalor tinggi tetapi juga menciptakan fraksi cair kaya nutrisi dan senyawa organik.[8][9][10]

Berdasarkan latar belakang diatas, penelitian ini akan menganalisa karakteristik pembakaran biomassa TKKS dan limbah tahu yang mengidentifikasi kondisi optimal massa biomassa dan laju alir udara, menghasilkan efisiensi pembakaran maksimal hingga 94,9% dan emisi gas yang minimal. Dengan pemanfaatan limbah cair tahu sebagai co-substrat dalam pencernaan anaerobik untuk meningkatkan kandungan organik dan memperbaiki rasio C/N, sehingga meningkatkan efisiensi produksi biogas.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental yang dimana pengamatan secara langsung. Penelitian ini menggunakan variasi perbedaan suhu sebesar 180°C dan 210 °C dengan rasio campuran limbah air tahu dan TKKS Sebesar 1:10 (1 gram Biomassa dan 10 ml Solven). Proses pengujian HTC selama 8 jam. Variabel yang diamati adalah karakteristik pembakaran.

SKEMA INSTALASI PENELITIAN



Gambar 1. Skema Instalasi Proses HTC

Skema ini menunjukkan proses Hydrothermal Carbonization (HTC) untuk mengolah biomassa seperti ampas tahu dan tandan kosong kelapa sawit (TKKS) menjadi hydrochar. Bahan baku yang digunakan yakni ampas tahu sebagai solven dan TKKS sebagai biomassa. Proses HTC, Biomassa dipanaskan dengan suhu (180–210°C).

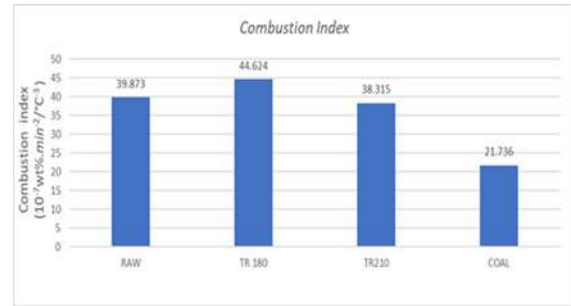
HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 2. Grafik *Ignition Index*

$$Di = \frac{DTG_{max}}{T_i \cdot T_p}$$

Di merupakan laju pembakaran, campuran TKKS dan air tahu menunjukkan laju pemanasan material setelah perlakuan *Hydrothermal*. Pada RAW, nilai Di sebesar 104,69 meningkat tajam 18,26% menjadi 123,81 setelah perlakuan hidrotermal pada suhu 180°C, lalu sedikit turun 9% kembali menjadi 112,64 pada suhu 210°C. Peningkatan pemanasan pada HTC 180 dibandingkan material RAW menandakan bahwa perlakuan hidrotermal mampu meningkatkan kemudahan pemanasan, ini disebabkan oleh perubahan struktur kimia hilangnya sebagian zat volatil yang mudah terbakar sehingga memperbaiki karakteristik awal pembakaran T_i . Sedangkan penurunan pada HTC 210 menunjukkan bahwa perlakuan suhu lebih tinggi mengakibatkan penurunan kandungan volatil secara berlebihan dan meningkatkan (*fixed carbon*).[11]



Gambar 3. Grafik *Combustion Index*

$$S = \frac{DTG_{max} \cdot DTG_{avg}}{T_i^2 \cdot T_b}$$

Grafik ini untuk mencerminkan karakteristik pembakaran, proses pembakaran, serta tingkat kesempurnaan pembakaran suatu material. 7 hasil dari *Combustion index*, nilai material RAW sebesar 39,873, sementara itu setelah perlakuan *Hydrothermal* pada suhu 180°C meningkat 11,92% pada nilai 44,624, dan terjadi penurunan sebanyak 14,12% pada suhu 210°C menjadi 38,315. Peningkatan pada material HTC 180 ini material menjadi lebih mudah untuk terbakar, namun perlakuan pada suhu yang lebih tinggi yakni HTC 210 menandakan bahwa karbonisasi berlebihan yang dapat mengurangi reaktivitas material walaupun ketahanan termalnya meningkat. Maka pada suhu sedang pada 180°C paling efektif dalam meningkatkan kualitas pembakaran TKKS dengan menggunakan solven air tahu. [11]

KESIMPULAN

Nilai *ignition index* dan *combustion index* menunjukkan bahwa suhu HTC 180°C memberikan kinerja pembakaran terbaik, peningkatan nilai Di pada suhu ini menandakan laju pembakaran awal lebih cepat sementara itu nilai S menunjukkan pembakaran yang lebih reaktif, efisien, dan menyeluruh. Sebaliknya, pada suhu HTC 210°C terjadi penurunan yang mencerminkan adanya karbonisasi berlebihan yang membuat pembakaran menjadi lebih lambat dan kurang efisien.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] L. N. Komariah, S. Arita, and R. A. D. P. Ananda, "Effectiveness of empty fruit bunch ash as the catalyst for palm oil transesterification," *South African J. Chem. Eng.*, vol. 50, pp. 65–74, Oct. 2024, doi: 10.1016/j.sajce.2024.07.010.
- [2] S. Saelor, P. Kongjan, P. Prasertsan, C. Mamimin, and S. O-Thong, "Enhancing thermophilic methane production from oil palm empty fruit bunches through various pretreatment methods: A comparative study," *Heliyon*, vol. 10, no. 20, Oct. 2024, doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e39668.
- [3] M. Volpe *et al.*, "Reactivity of cellulose during hydrothermal carbonization of lignocellulosic biomass," *Fuel Process. Technol.*, vol. 206, 2020, doi: 10.1016/j.fuproc.2020.106456.
- [4] I. S. Pansawati, Y. Agustin, and Y. Ahda, "Kinetic and combustion characteristics of oil palm empty fruit bunch biochar using thermogravimetric analysis," *J. Teknosains*, vol. 13, no. 2, p. 128, 2024, doi: 10.22146/teknosains.89413.
- [5] J. N. Ferreira, H. M. Pinheiro-Sant'ana, C. M. Della Lucia, R. D. B. L. Teixeira, and L. de M. Cardoso, "Chemical composition, vitamins, and minerals of family farming biribiri (*Averrhoa bilimbi* L.) in the middle doce river region, minas gerais, brazil," *Cienc. Rural*, vol. 52, no. 3, 2022, doi: 10.1590/0103-8478cr20200816.
- [6] Dianursanti, B. T. Rizkytata, M. T. Gumelar, and T. H. Abdullah, "Industrial tofu wastewater as a cultivation medium of microalgae *Chlorella vulgaris*," in *Energy Procedia*, Elsevier Ltd, 2014, pp. 56–61. doi: 10.1016/j.egypro.2014.01.196.
- [7] N. Hardyanti, H. Susanto, and M. A. Budihardjo, "Removal of organic matter from tofu wastewater using a combination of adsorption, Fenton oxidation, and ultrafiltration membranes," *Desalin. Water Treat.*, vol. 318, Apr. 2024, doi: 10.1016/j.dwt.2024.100255.
- [8] M. Tahmid Islam, J. L. Klinger, and M. Toufiq Reza, "Evaluating combustion characteristics and combustion kinetics of corn stover-derived hydrochars by cone calorimeter," *Chem. Eng. J.*, vol. 452, no. P2, p. 139419, 2023, doi: 10.1016/j.cej.2022.139419.
- [9] S. Poomsawat and W. Poomsawat, "Analysis of hydrochar fuel characterization and combustion behavior derived from aquatic biomass via hydrothermal carbonization process," *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 27, no. August, 2021, doi: 10.1016/j.csite.2021.101255.
- [10] G. Zhu *et al.*, "Characterization and pelletization of cotton stalk hydrochar from HTC and combustion kinetics of hydrochar pellets by TGA," *Fuel*, vol. 244, no. February, pp. 479–491, 2019, doi: 10.1016/j.fuel.2019.02.039.
- [11] M. A. Qodir and A. F. Alhikami, "Analisis profil degradasi massa pada hydrochar menggunakan teknik Hydrothermal Carbonization dari limbah tandan kosong sawit Universitas Islam Malang
PENDAHULUAN Salah satu biomassa yang memiliki potensi besar untuk dikembangkan menjadi energi terbarukan ".