



e-ISSN Number  
2655 2967

Available online at <https://jurnal.teknologiindustriumi.ac.id/index.php/JCPE/index>

*Journal of Chemical Process Engineering*

Volume 6 Nomor 2 (2021)



SINTA Accreditation  
Number 28/E/KPT/2019

## Pengaruh Ukuran Partikel Bahan dan Waktu Penahanan pada Pirolisis Lambat Limbah Tongkol Jagung Menjadi Bioarang

*(The Effect of Material Particle Size and Holding Time on Slow Pyrolysis of Corn Cobs Waste into Biochar)*

Zakiah Darajat<sup>1\*</sup>, Munira Munira<sup>2</sup>, Mimin Septiani<sup>1</sup>, Andi Aladin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Kimia, Sekolah Tinggi Teknologi Industri Bontang, Jl. Brigjend Katamso No.40, Bontang 75313, Indonesia

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Muslim Indonesia, Jl. Urip Sumoharjo Km. 05, Kampus II UMI, Makassar 90231, Indonesia

### Inti Sari

Limbah lignoselulosa yang tersebar melimpah di berbagai wilayah Indonesia salah satunya adalah tongkol jagung. Limbah lignoselulosa merupakan limbah hasil pertanian yang mengandung komponen polisakarida seperti selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Dengan kandungannya tersebut, tongkol jagung sangat berpotensi untuk dikonversi menjadi bioarang yang bisa digunakan sebagai zat aditif dalam pembuatan biobriket. Sebanyak 1 kg tongkol jagung dimasukkan ke dalam reaktor pirolisis dengan variabel ukuran partikel bahan, yaitu kasar ( $-1/+1\frac{1}{2}$  inch), sedang ( $-\frac{3}{8}/+1$  inch), dan halus ( $-\frac{1}{4}/+\frac{3}{8}$  inch). Pirolisis lambat dilakukan pada suhu 400 °C, dengan waktu penahanan 120 menit setelah suhu yang ditentukan tercapai. Biorang yang diperoleh ditimbang dan dianalisis proksimatnya, serta diuji nilai kalorinya. Metode yang sama dilakukan untuk 1 kg tongkol jagung berukuran sedang ( $-\frac{3}{8}/+1$  inch) pada suhu 400 °C dengan waktu penahanan 30 menit, 60 menit, 90 menit, 120 menit, dan 150 menit. Ukuran bahan optimum yang digunakan pada proses pirolisis lambat limbah tongkol jagung adalah ukuran sedang ( $-\frac{3}{8}/+1$  inch) dengan nilai kalor 6950 Cal / gram, dan waktu penahanan optimum yang digunakan pada proses pirolisis lambat limbah tongkol jagung adalah 150 menit dengan nilai kalor 7066 Cal / gram.

### Abstract

Lignocellulose waste that is spread abundantly in various parts of Indonesia, one of which is corn cobs. Lignocellulose waste is agricultural waste contains polysaccharide components such as cellulose, hemicellulose, and lignin. With this content, it is very possible for corn cobs to be converted into bio-char, which can be used as an additive in manufacture of bio-briquettes. A total of 1000 grams of corn cobs were put into a pyrolysis reactor with variable particle size, namely coarse ( $-1/+1\frac{1}{2}$  inch), medium ( $-\frac{3}{8}/+1$  inch), and fine ( $-\frac{1}{4}/+\frac{3}{8}$  inch). Slow pyrolysis was carried out at 400 °C, with a holding time of 120 minutes after the temperature was reached. Biochar obtained was weighed and analyzed proximately, and its calorific value was tested. The same method was carried out for 1 kg of corn cobs of medium size ( $-\frac{3}{8}/+1$  inch) at 400 °C with a holding time of 30 minutes, 60 minutes, 90 minutes, 120 minutes, and 150 minutes. The optimum material size used in the slow pyrolysis process of corn cobs waste is medium size ( $-\frac{3}{8}/+1$  inch) with a calorific value of 6950 Cal / gram, and the optimum holding time used in the slow pyrolysis process of corn cobs waste is 150 minutes with a calorific value of 7066 Cal / gram.

**Kata Kunci:** Tongkol Jagung; Pirolisis Lambat; Ukuran Partikel Bahan; Waktu Penahanan; Biorang

**Key Words :** Corn Cob; Slow Pyrolysis; Material Particle Size; Holding Time; Biochar

### Published by

Department of Chemical Engineering  
Faculty of Industrial Technology  
Universitas Muslim Indonesia, Makassar

### Address

Jalan Urip Sumohardjo km. 05 (Kampus 2 UMI)  
Makassar- Sulawesi Selatan

### Phone Number

+62 852 5560 3559  
+62 852 4220 3009

### Corresponding Author

zakiah.darajat2309@gmail.com



### Journal History

Paper received : 10 Agustus 2021  
Received in revised : 23 September 2021  
Accepted : 25 November 2021

3/8 / + 1 inch), and fine (-1/4/+3/8 inch). Slow pyrolysis was carried out at 400 °C, with a holding time of 120 minutes after the specified temperature was reached. The bio-char obtained is considered and analyzed proximately, and tested for calorific value. The same method was used out for 1000 grams of medium sized corn cobs (-3/8 / + 1 inch) at 400 °C with a holding time of 30 minutes, 60 minutes, 90 minutes, 120 minutes, and 150 minutes. The optimum size of the material used in the slow pyrolysis process of corn cobs waste is medium size (-3/8 / + 1 inch) with a calorific value of 6950 Cal / gram, and the optimum holding time used in the slow pyrolysis process of corn cobs waste is 150 minutes with a calorific value of 7066 Cal / gram

## PENDAHULUAN

Pertumbuhan penduduk disertai dengan pembangunan ekonomi, secara langsung mempengaruhi konsumsi energi. Saat ini, bahan bakar dari fosil menyumbang kurang lebih 80% kebutuhan energi dunia. Penggunaan sumber tak terbarukan tersebut secara terus-menerus menghasilkan peningkatan laju emisi gas berbahaya ke atmosfer, yang dapat menyebabkan masalah di lingkungan. Dampak lingkungan yang banyak diakibatkan oleh penggunaan bahan bakar dari fosil yang berlebihan menjadi faktor pendorong pengembangan sumber energi terbarukan dengan teknologi yang aman dan berkelanjutan sebagai alternatif produk dan turunan dari sumber tak terbarukan [1]. Dari berbagai jenis sumber energi terbarukan, limbah biomassa memiliki potensi yang paling besar yaitu sekitar 79% dan pemanfaatannya masih kurang [2]. Biomassa didefinisikan sebagai bahan yang diperoleh dari limbah, seperti kayu, limbah pertanian, industri organik, limbah rumah tangga, ganggang, dll. Produksi pertanian seperti tebu, jagung, kayu putih, dan beras menghasilkan beberapa limbah yang berpotensi besar sebagai energi [3].

Tanaman Jagung (*Zea mays L.*) merupakan salah satu pangan nabati terpenting kedua di dunia selain padi dan gandum [4]. Lahan pertanian jagung tersebar hampir di seluruh wilayah daratan Indonesia, karena kemampuan tanaman jagung yang dapat tumbuh, baik di dataran tinggi maupun rendah [5]. Menurut data Badan Pusat Statistik (BPS), luas keseluruhan lahan pertanian jagung di wilayah Indonesia pada tahun 2015 adalah 3.787.367 ha dengan produksi 19.612.435 ton jagung pipilan. Jika produksi jagung pipilan kering mencapai 3 - 4 ton/ha, maka limbah jagung berupa tongkol jagung yang diproduksi akan lebih besar [6]. Limbah yang dihasilkan ada budidaya pertanian jagung berupa tongkol jagung, batang, daun, dan kelobot [7].

Tongkol jagung merupakan salah satu limbah pertanian jagung yang sering dikenal sebagai limbah biomassa jagung [8]. Persentase biomassa jagung yang dihasilkan dari tongkol adalah 30% dari berat jagung [9]. Pemanfaatan limbah tongkol jagung di Indonesia diperuntukkan untuk berbagai keperluan, mulai dari bidang kerajinan, hingga penggunaan

dalam bidang konstruksi bangunan. Sedangkan hasil dari pemanfaatan tersebut di bakar dan dibuang sehingga menjadi sampah [10]. Untuk mengurangi dampaknya terhadap lingkungan, perlu dilakukan konversi tongkol jagung menjadi produk bernilai tambah tinggi [11]. Komposisi utama dalam limbah tongkol jagung yaitu lignoselulosa. Lignoselulosa terdiri dari selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Bahan-bahan tersebut akan mengalami proses penguraian (dekomposisi) melalui proses pirolisis [12].

Tabel 1. Komposisi Kimia Tongkol Jagung

Komponen	Kandungan (%)
Kadar Abu	6,04
Lignin	15,70
Selulosa	36,81
Hemiselulosa	27,01

(Sumber: [5])

Teknologi pirolisis telah menjadi perhatian para peneliti saat ini dalam hal merubah biomassa menjadi bahan bakar [13]. Pirolisis biomassa merupakan teknologi yang efektif dalam proses pembakaran biomassa dan gasifikasi [14]. Pirolisis merupakan dekomposisi/penguraian bahan kimia organik dengan proses pemanasan tanpa keberadaan oksigen atau pereaksi lainnya. Di mana struktur kimia Bahan baku (*raw material*) akan mengalami pemecahan menjadi fase gas [15]. Proses pirolisis akan menghasilkan tiga komponen yaitu komponen dengan fase cair, gas dan padat [8]. Secara umum, pirolisis dikategorikan sebagai pirolisis lambat dan pirolisis cepat. Pirolisis lambat, beroperasi pada waktu tinggal yang lama dan laju pemanasan yang lambat. Pirolisis lambat menghasilkan komponen fase cair yang lebih sedikit sedangkan fase gas dan padatan akan dihasilkan lebih banyak. Pirolisis cepat melakukan konversi termokimia pada laju pemanasan yang cepat (berkisar 100 °C / menit). Produk yang dihasilkan pada pirolisis cepat berupa fraksi cair dan gas [16]. Pada umumnya pirolisis dilakukan dengan rentang waktu 30 menit hingga 120 menit. [2]

Pirolisis lambat biomassa telah banyak dilakukan oleh beberapa peneliti. Telah dilakukan penelitian tentang efek parameter pirolisis lambat seperti suhu, laju pemanasan, *pre-treatment*, dan kondisi operasi untuk biomassa batang kapas, ranting kemiri, lobak, dan partikel kayu silinder [17]. Proses

pirolisis biomassa yang berlangsung pada suhu 400 °C – 550 °C juga telah dilakukan oleh peneliti [18] dan dihasilkan minyak yang merupakan hasil dekomposisi selulosa, sementara padatan (*biochar*) yang dihasilkan berasal dari lignin. Pirolisis lambat biomassa hasil pertanian seperti tongkol jagung, jerami gandum, jerami padi, dan sekam padi dengan suhu pirolisis 300 °C – 450 °C telah dilakukan [19]. Perbandingan hasil *biochar* cangkang kenari antara metode pirolisis cepat dan pirolisis lambat juga telah diteliti [20].

Berdasarkan penjelasan di atas, maka perlu dilakukan penelitian tentang pengaruh ukuran partikel biomassa dan waktu penahanan pada pirolisis lambat dengan bahan baku biomassa tongkol jagung. Diharapkan bahwa hasil yang diperoleh dapat menjadi bentuk penganekaragaman terhadap produk pirolisis.

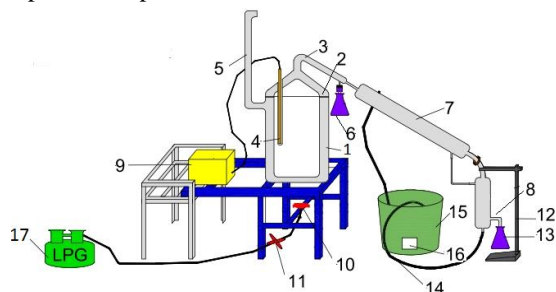
## METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Kimia Dasar Fakultas Teknologi Industri, Universitas Muslim Indonesia.

### Bahan dan Alat

Dalam penelitian ini digunakan limbah biomassa berupa tongkol jagung hibrida yang diperoleh dari Balai Penelitian Tanaman Serelia Kabupaten Maros, dan dari Petani Kabupaten Bone, Sulawesi Selatan.

Peralatan yang digunakan yaitu rangkaian alat pirolisis yang terdiri dari reaktor pirolisis, *temperature control*, dan kondensor. Alat penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian Peralatan Pirolisis

Keterangan Gambar:

- |                            |                          |
|----------------------------|--------------------------|
| 1. Reaktor pirolisis       | 10. Tungku Pembakaran    |
| 2. Pengunci                | 11. Kran aliran gas      |
| 3. Tutup Reaktor Pirolisis | 12. Statif/Penyangga     |
| 4. <i>Termocople</i>       | 13. Penampung Asap Cair  |
| 5. Cerobong asap           | 14. Selang Air Pendingin |
| 6. Penampung Tar           | 15. Tangki Air Pendingin |
| 7. Kondensor               | 16. Pompa                |

- |                   |                    |
|-------------------|--------------------|
| 8. Valve / Kran   | 17. Tabung Gas LPG |
| 9. Indikator Suhu |                    |

## Prosedur Penelitian

### Tahap Persiapan Bahan Baku

Bahan baku berupa tongkol jagung dibersihkan dari zat pengotor lalu dijemur sampai kering selama 3 hari di bawah sinar matahari langsung. Tongkol jagung yang telah kering kemudian dicitric/dicacah dan diayak hingga diperoleh ukuran partikel tongkol jagung, yaitu ukuran kasar ( $-1/+1\frac{1}{2}$  inch), sedang ( $-\frac{3}{8}/+1$  inch), dan halus ( $-\frac{1}{4}/+\frac{3}{8}$  inch).

### Proses Pirolisis

#### 1. Pengaruh Ukuran Partikel Bahan

Tongkol jagung dengan ukuran kasar ( $-1/+1\frac{1}{2}$  inch) ditimbang sebanyak 1000 gr, kemudian dimasukkan ke dalam reaktor pirolisis. Suhu reactor pirolisis diatur 400 °C. Setelah suhu yang ditentukan tercapai, dilakukan penahanan selama 120 menit. Hal yang sama juga dilakukan untuk ukuran partikel bahan sedang ( $-\frac{3}{8}/+1$  inch), dan halus ( $-\frac{1}{4}/+\frac{3}{8}$  inch). Bioarang yang dihasilkan kemudian dikeluarkan untuk dianalisa proximate-nya serta diuji nilai kalornya.

#### 2. Pengaruh Waktu Penahanan

Tongkol jagung dengan ukuran sedang ( $-\frac{3}{8}/+1$  inch) ditimbang sebanyak 1000 gr, kemudian dimasukkan ke dalam reaktor pirolisis. Suhu pada reactor pirolisis diatur 400 °C. Hal yang sama dilakukan untuk variasi waktu penahanan yaitu 30 menit, 60 menit, 90 menit, 120 menit, dan 150 menit. Bioarang yang dihasilkan kemudian dikeluarkan untuk dianalisa proximate serta dilakukan pengujian terhadap nilai kalornya.

#### 3. Analisa Bioarang

Bioarang dianalisa proximate-nya yaitu %MAS (kadar air), %Ash (kadar abu), %VM (*Volatile matter*), %FC (*fixed carbon*), dan Sulfur. Nilai kalor bioarang limbah tongkol jagung diukur dengan menggunakan *bomb calorimeter*.

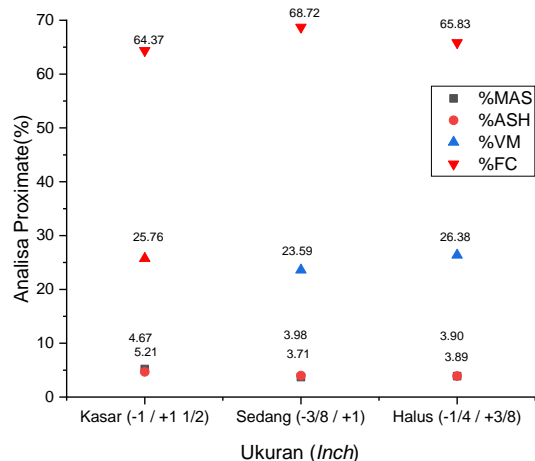
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pengaruh Ukuran Partikel Bahan

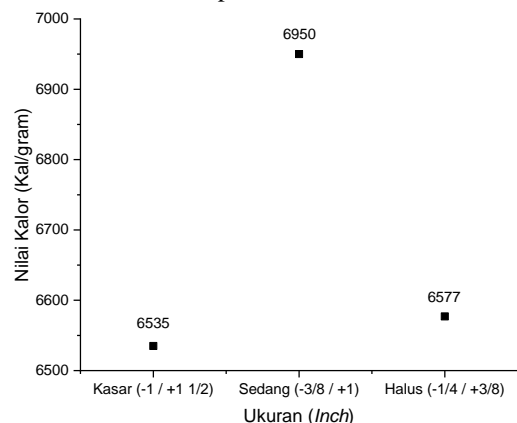
Ukuran partikel bahan memiliki pengaruh besar pada proses pirolisis biomassa. Ukuran partikel mempengaruhi laju kenaikan suhu dan waktu pirolisis [14].

Karakteristik pengujian Biomassa terdiri dari kandungan air (*moisture content*), zat terbang

(*volatile matter*), karbon tetap (*fixed carbon*), dan abu (*ash*) [21]. Gambar 2 menunjukkan pengaruh variasi ukuran partikel terhadap analisa proximate *bio-char*, sedangkan Gambar 3 menunjukkan pengaruh variasi ukuran partikel terhadap nilai kalor *bio-char*.



Gambar 2. Pengaruh Variasi Ukuran Partikel Bahan Terhadap Analisa Proximate *Bio-Char*.

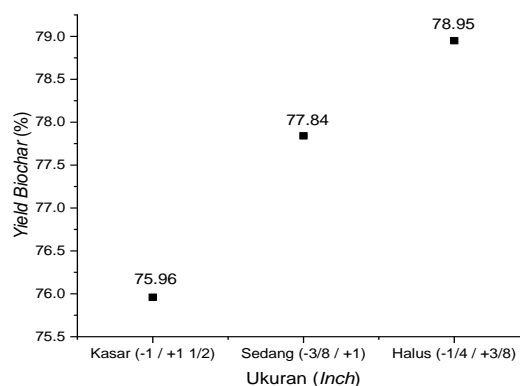


Gambar 3. Pengaruh Variasi Ukuran Partikel Bahan Terhadap Nilai Kalor *Bio-Char*.

Dari Gambar 2 dapat diketahui ukuran partikel bahan terbaik yaitu ukuran Sedang ( $-\frac{3}{8}/+1$  inch). Ukuran partikel bahan Sedang ( $-\frac{3}{8}/+1$  inch) memiliki kadar *Fixed Carbon* (%FC) lebih tinggi yaitu 68.72%. Hal tersebut terjadi karena nilai *fixed carbon* berkaitan dengan kadar air (%MAS), kadar abu (%ASH), dan zat terbang (%VM). Apabila terjadi penurunan nilai dari parameter-parameter tersebut, maka nilai *fixed carbon* dalam bioarang akan secara otomatis mengalami kenaikan [22]. Luas permukaan yang kecil pada ukuran partikel bahan yang kasar menyebabkan kemampuan daya serap bahan tersebut pun menjadi kecil sehingga *moisture content* yang diperoleh tinggi. Sama halnya dengan *ash content* dan

*volatile matter*, ukuran partikel bahan yang semakin besar membuat ikatannya menjadi longgar sehingga jumlah oksigen yang mengalir tercukupi dan menyebabkan terjadinya pembakaran sempurna sehingga *ash content* dan *volatile matter* yang dihasilkan tinggi [23]. Hal tersebut mengakibatkan nilai *fixed carbon* menjadi lebih besar. Besarnya *heating value* (Nilai Kalor) sangat ditentukan oleh kandungan *fixed carbon*. Semakin tinggi kadar *fixed carbon*, maka nilai kalor pun akan semakin besar [24]. Hal tersebut ditunjukkan pada Gambar 3. Ukuran partikel bahan Sedang ( $-\frac{3}{8}/+1$  inch) memiliki nilai kalor yang paling tinggi. Namun, pada ukuran partikel halus ( $-\frac{1}{4}/+\frac{3}{8}$  inch), *moisture content* (%MAS) dan *volatile matter* (%VM) mengalami kenaikan sehingga terjadi penurunan pada nilai *fixed carbon* (%FC). Hal ini kemungkinan disebabkan partikel bahan yang terlalu kecil sehingga ruang pori yang tersedia sangat kecil dan menyebabkan pembakaran tidak sempurna [23]. Nilai *moisture content* dan *volatile matter* yang tinggi tersebut menyebabkan *fixed carbon* dan nilai kalor menjadi rendah karena nilai kalor bahan akan dilepaskan menjadi uap pembakaran [25].

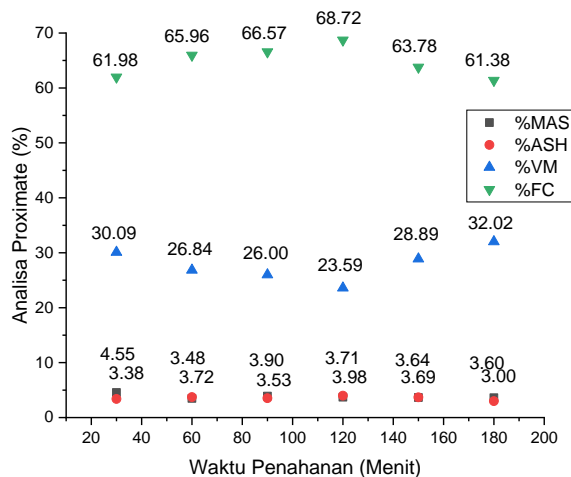
Hubungan antara ukuran partikel bahan terhadap *bio-char* dapat dilihat pada Gambar 4. Pada Gambar tersebut menunjukkan bahwa semakin kecil ukuran partikel, semakin besar *bio-char yield* yang dihasilkan. Hal ini terjadi karena ukuran partikel bahan yang lebih besar mengakibatkan resistensi perpindahan panas yang lebih besar yang secara signifikan mempengaruhi laju reaksi [14] dan mengakibatkan peningkatan suhu, sehingga terjadi dekomposisi hemiselulosa dan lignin. Dekomposisi tersebut mengakibatkan hasil cairan (*bio-oil*) yang diperoleh meningkat sehingga yang terkonversi menjadi *bio-char* semakin rendah [19].



Gambar 4. Pengaruh Variasi Ukuran Partikel Bahan Terhadap *Yield Bio-Char*.

### Pengaruh Ukuran Partikel Bahan

Waktu penahanan (*holding time*) akan menghasilkan penyempumaan pada proses pirolisis [2].



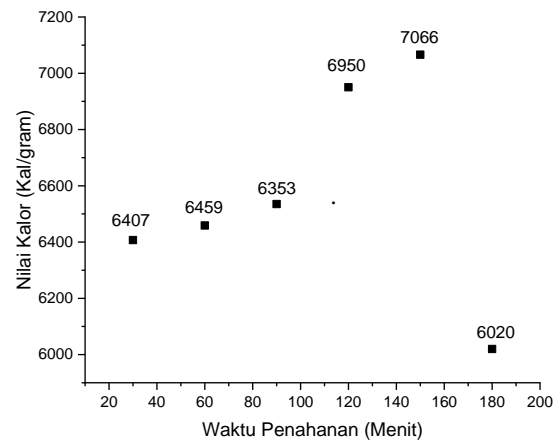
Gambar 5. Pengaruh Variasi Waktu Penahanan Terhadap Analisa Proximate *Bio-Char*

Pada Gambar 5 di atas, diketahui bahwa kadar air (%MAS), kadar abu (%ASH), zat terbang (%VM), dan karbon tetap (%FC) mengalami fluktuasi seiring bertambahnya waktu penahanan. Pada dasarnya waktu penahanan berbanding terbalik dengan kadar air. Hal ini terjadi karena dengan semakin meningkatnya waktu penahanan (*holding time*) maka *gas humidity* yang dihasilkan dan panas penguapan gas akan menjadi berkurang sehingga laju pengeringan meningkat. Sedangkan terjadinya kenaikan kadar air pada waktu penahanan 90 menit diakibatkan oleh reabsorpsi pada kadar air. Reabsorpsi dimungkinkan terjadi karena adanya afinitas (daya ikat) oksigen pada permukaan *bio-char* tongkol jagung.

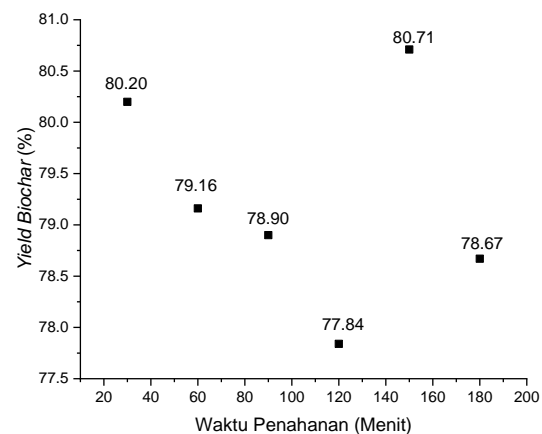
Begitu pula dengan kadar abu (*ash content*) dan zat terbang (*volatile matter*). Pada waktu penahanan 30 menit hingga 120 menit terjadi reaksi pembangkitan panas (proses *thermal*) yang merupakan karakteristik dari biomassa ( $C_mH_nO_p$ ) meliputi gas  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $H_2$ , dan  $H_2O$  akan menguap menjadi gas.  $C_xH_y$  akan bereaksi dengan *gasifying agent* untuk diubah menjadi molekul gas yang lebih ringan dan bersih walaupun dapat terbentuk tar dan asap. Ketika secara perlahan terjadi difusi dari *gasifying agent*, maka kadar zat terbang akan menurun [2].

Gambar 6 menunjukkan hubungan antara waktu penahanan dengan nilai kalor *bio-char*. Dari gambar tersebut terlihat bahwa pada waktu penahanan 30 menit sampai 150 menit, kandungan *fixed carbon*

*bio-char* tongkol jagung terus meningkat. Hal ini diakibatkan karena nilai karbon tetap berkaitan erat dengan kadar air (%MAS), kadar abu (%ASH), dan zat terbang (%VM) [22].



Gambar 6. Pengaruh Variasi Waktu Penahanan Terhadap Nilai Kalor *Bio-Char*.



Gambar 7. Pengaruh Variasi Waktu Penahanan Terhadap *Yield Bio-char*.

Pada gambar 7 dilihat bahwa untuk waktu penahanan 30 menit sampai 120 menit *yield bio-char* mengalami penurunan yaitu 80.20% hingga 77.84% pada menit ke-30 hingga menit ke-120. Hal ini terjadi waktu penahanan yang semakin lama mengakibatkan jumlah panas yang diperoleh tongkol jagung semakin banyak sehingga sebagian besar komponen dalam tongkol jagung mengalami penguraian dan terkondensasi menjadi asap cair [8], dan mengakibatkan *char* yang dihasilkan semakin menurun. Pada waktu penahanan 150 menit, *yield bio-char* mengalami kenaikan yang cukup signifikan yaitu 80.71%. Hal ini terjadi karena kemungkinan pada waktu penahanan 150 menit terjadi *secondary cracking* atau perengkahan senyawa primer yang mengakibatkan produk tar merengkah menjadi gas

sehingga produk tar menurun dan produk *bio-char* meningkat [26].

## KESIMPULAN

1. Ukuran partikel bahan yang optimum digunakan pada proses pirolisis limbah tongkol jagung yaitu ukuran Sedang ( $-\frac{3}{8}/+1$  inch), dengan nilai kalor 6950 Kal/gram.
2. Waktu penahanan (*holding time*) yang optimum digunakan pada proses pirolisis lambat limbah tongkol jagung yaitu 150 menit dengan nilai kalor 7066 Kal/gram.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada FTI UMI Makassar sebagai penyedia fasilitas selama penelitian

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. Setter, F. T. M. Silva, M. R. Assis, C. H. Atafide, P. F. Trugilho, and T. J. P. Oliveira, "Slow pyrolysis of coffee husk briquettes: Characterization of the solid and liquid fractions," *Fuel*, vol. 261, no. October 2019, 2020, doi: 10.1016/j.fuel.2019.116420.
- [2] I. W. A. Antara, I. N. S. Winaya, and I. W. Widhiada, "Variasi Waktu Penahanan Pada Pirolisis Fluidisasi Bed Briket Batok Kelapa Mudaterhadap Analisis Proksimat," *J. METTEK*, vol. 2, no. 1, pp. 11–17, 2016.
- [3] F. R. Vieira, C. M. Romero Luna, G. L. A. F. Arce, and I. Ávila, "Optimization of slow pyrolysis process parameters using a fixed bed reactor for biochar yield from rice husk," *Biomass and Bioenergy*, vol. 132, no. October 2019, 2020, doi: 10.1016/j.biombioe.2019.105412.
- [4] T. Handayani, D. Xyzquolyna, and S. Eke, "Karakteristik Asap Cair Tongkol Jagung dengan Pemurnian Menggunakan Arang Aktif," *J. Entropi*, vol. 13, no. 2, pp. 121–126, 2018.
- [5] O. D. Martins, S. P. A. Angraini, and S. Yuniningsih, "Pemanfaatan Tongkol Jagung Menjadi Asap Cair Menggunakan Proses Pirolisis," *eUREKA*, vol. 1, no. 1, p. 2, 2017.
- [6] Badan Pusat Statistik, "Tanaman Pangan : Jagung." <https://www.bps.go.id/subject/53/tanaman-pangan.html#subjekViewTab3> (accessed Apr. 11, 2021).
- [7] B. N. Widarti, P. Sihotang, and E. Sarwono, "Penggunaan tongkol jagung akan meningkatkan nilai kalor pada briket," *J. Integr. Proses*, vol. 6, no. 1, pp. 16–21, 2016.
- [8] M. Syahrir and M. Mahyati, "Pengolahan Limbah Tongkol Jagung Menjadi Asap Cair dengan Metode Pirolisis Lambat," *INTEK J. Penelit.*, vol. 6, no. 1, p. 69, 2019, doi: 10.31963/intek.v6i1.1209.
- [9] L. Zheng, D. Peng, and P. Meng, "Corn-cob-supported aluminium-manganese binary oxide composite enhanced removal of cadmium ions," *Colloids Surfaces A Physicochem. Eng. Asp.*, vol. 561, no. October 2018, pp. 109–119, 2019, doi: 10.1016/j.colsurfa.2018.10.075.
- [10] K. B. Reta and S. A. Angraini, "Pembuatan Asap Cair Dari Tempurung Kelapa, Tongkol Jagung, Dan Bambu Menggunakan Proses Slow Pyrolysis," *Reka Buana J. Ilm. Tek. Sipil dan Tek. Kim.*, vol. 1, no. 1, pp. 57–64, 2016.
- [11] L. Zhang, S. Li, H. Ding, and X. Zhu, "Two-step pyrolysis of corn-cob for value-added chemicals and high-quality bio-oil: Effects of alkali and alkaline earth metals," *Waste Manag.*, vol. 87, pp. 709–718, 2019, doi: 10.1016/j.wasman.2019.03.002.
- [12] K. Li, C. Zhu, L. Zhang, and X. Zhu, "Study on pyrolysis characteristics of lignocellulosic biomass impregnated with ammonia source," *Bioresour. Technol.*, vol. 209, no. February, pp. 142–147, 2016, doi: 10.1016/j.biortech.2016.02.136.
- [13] K. Parmar, "Biomass- An Overview on Composition Characteristics and Properties," *IRA-International J. Appl. Sci. (ISSN 2455-4499)*, vol. 7, no. 1, p. 42, 2017, doi: 10.21013/jas.v7.n1.p4.

- [14] K. Wang, H. Zhang, S. Chu, and Z. Zha, "Pyrolysis of single large biomass particle: Simulation and experiments," *Chinese J. Chem. Eng.*, vol. 29, no. September, pp. 375–382, 2021, doi: 10.1016/j.cjche.2020.09.032.
- [15] K. Ridhuan, D. Irawan, and R. Inthifawzi, "Proses Pembakaran Pirolisis dengan Jenis Biomassa dan Karakteristik Asap Cair yang Dihasilkan," *Turbo J. Progr. Stud. Tek. Mesin*, vol. 8, no. 1, pp. 69–78, 2019, doi: 10.24127/trb.v8i1.924.
- [16] J. Paz-Ferreiro, A. Nieto, A. Méndez, M. P. J. Askeland, and G. Gascó, "Biochar from biosolids pyrolysis: A review," *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 15, no. 5, p. 5, 2018, doi: 10.3390/ijerph15050956.
- [17] T. Kan, V. Strezov, and T. J. Evans, "Lignocellulosic biomass pyrolysis: A review of product properties and effects of pyrolysis parameters," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 57, no. December, pp. 1126–1140, 2016, doi: 10.1016/j.rser.2015.12.185.
- [18] M. Klaas *et al.*, "The effect of torrefaction pre-treatment on the pyrolysis of corn cobs," *Results Eng.*, vol. 7, no. July, p. 100165, 2020, doi: 10.1016/j.rineng.2020.100165.
- [19] B. Biswas, N. Pandey, Y. Bisht, R. Singh, J. Kumar, and T. Bhaskar, "Pyrolysis of agricultural biomass residues: Comparative study of corn cob, wheat straw, rice straw and rice husk," *Bioresour. Technol.*, vol. 237, no. February, pp. 57–63, 2017, doi: 10.1016/j.biortech.2017.02.046.
- [20] T. Yuan, W. He, G. Yin, and S. Xu, "Comparison of bio-chars formation derived from fast and slow pyrolysis of walnut shell," *Fuel*, vol. 261, no. October 2019, p. 116450, 2020, doi: 10.1016/j.fuel.2019.116450.
- [21] K. W. Ragland and K. M. Bryden, *Combustion Engineering*. Boca Raton, London, New York: CRC Press, 2011.
- [22] J. G. Speight, *The chemistry and technology of coal, third edition*. Boca Raton, London, New York: CRC Press, 2012.
- [23] P. Bhattarai, R. Sapkota, and R. M. Ghimire, "Effects of binder and charcoal particle size on the physical and thermal properties of beehive briquettes," *Proc. IOE Grad. Conf.*, vol. 1, no. January 2016, pp. 57–63, 2016.
- [24] Hamdani and Y. Oktarini, "Karakteristik Batubara Pada Cekungan Meulaboh Di Kabupaten Aceh Barat Dan Nagan Raya, Provinsi Aceh," *J. Ilm. Jurutera*, vol. 01, no. 01, pp. 77–84, 2014.
- [25] I. N. Sukarta and S. Ayuni, "Analisis Proksimat dan Nilai Kalor pada Pelet Limbah Bambu," *Sains dan Teknol.*, vol. 5, no. 1, pp. 752–761, 2016.
- [26] R. D. Andayani, "Pengaruh Temperatur Dan Ukuran Partikel Terhadap Distribusi Produk Pirolisis Batubara Subbituminus," *J. Redoks*, vol. 3, no. 2, p. 19, 2018, doi: 10.31851/redoks.v3i2.2385.