

PRODUCTION OF SOLID FUEL MATERIAL FROM COCONUT SHELLS WITH HYDROTHERMAL TREATMENT METHOD

Muhammad Irsan, Ahmad Tawfiequrrahman Yuliansyah*, Suryo Purwono
Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

* E-mail corresponding author: atawfieq@ugm.ac.id

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><i>Article history:</i> Received: 18-02-2019 Received in revised form: 22-02-2019 Accepted: 19-03-2019 Published: 10-04-2019</p> <p><i>Keywords:</i> Hydrothermal Biomass Yield Calorific value</p>	<p><i>Hydrothermal treatment is one of biomass conversion process using water as a medium, as well as chemical reactant. In this study, hydrothermal process was employed to coconut shell, one of the largest biomass resources in Indonesia. The experiment was conducted in a batch autoclave equipped with mixer, temperature and pressure sensor. This study used biomass to water ratio (B/W ratio) of 1:20 and temperature of 240, 270, 300, and 330 °C. The coconut shell sample (sized -32+48 mesh) as much as 7.5 gram was mixed with 150 ml water and was then loaded into the autoclave. Before starting the experiment, air inside the autoclave was purged using gas N₂, and the internal pressure was maintained at 10. The electrical heater was the turned on to reach the target temperature and it was held for 30 minutes, and the heater is turned off afterward. After cooling, the slurry was taken out of autoclave and it was filtered by vacuum filter. Yield of solid product was then calculated, while the characteristics of solid were analysed with proximate, ultimate, and calorific value. Based on the experimental results, the higher the temperature, the lower yields of solid produced. The yields obtained ranged from 32.44% (330 °C) to 50.60% (240 °C). The result also showed that the increase of carbon content in the solid followed by oxygen content decrease caused the calorific value of the solid increased. The highest calorific value of product (e.g. 6,282 cal/g) was obtained from 330 °C treatment.</i></p>

PRODUKSI BAHAN BAKAR PADAT DARI TEMPURUNG KELAPA DENGAN METODE HYDROTHERMAL TREATMENT

Abstrak- Hidrotermal treatment merupakan salah satu proses konversi biomassa menggunakan air sebagai media sekaligus reaktan dalam prosesnya. Pada penelitian ini, dilakukan proses hidrotermal terhadap tempurung kelapa, yang merupakan salah satu sumber biomassa yang jumlahnya cukup besar di Indonesia. Eksperimen dilakukan dengan menggunakan autoklaf yang beroperasi secara batch dan dilengkapi dengan pengaduk, sensor temperatur dan tekanan. Dalam penelitian ini digunakan variasi berupa perbandingan Biomass Water (B/W ratio) 1:20 dan suhu 240, 270, 300, 330 °C. Tempurung kelapa yang sudah dihaluskan (berukuran -32+48 mesh) sebanyak 7,5 gram dicampur dengan 150 ml air. Kemudian dimasukkan dalam autoklaf yang kemudian ditutup rapat. Sebelum dimulai eksperimen, udara yang ada di dalam autoklaf di-purge menggunakan gas N₂ sebanyak tiga kali, kemudian tekanan di dalam autoklaf dinaikkan menjadi 10 bar juga dengan memasukkan gas N₂. Setelah itu, pemanas dinyalakan untuk mencapai suhu yang diharapkan, dan dipertahankan selama 30 menit, dan kemudian pemanas dimatikan. Setelah autoklaf dingin, campuran dikeluarkan dari dalam autoklaf dan kemudian disaring dengan bantuan pompa vacuum. Padatan yang tersaring kemudian dihitung yield-nya dan dianalisis dengan proximate dan ultimate analysis. Dari hasil penelitian tersebut diperoleh hasil bahwa semakin tinggi suhu yang digunakan maka semakin rendah yield produk arang yang dihasilkan. Yield yang diperoleh yaitu 50,60% (240 °C) dan 32,44% (330 °C). Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa kandungan carbon dalam padatan naik, diiringi dengan penurunan kandungan oksigen yang menyebabkan naiknya nilai kalor produk padatan. Nilai kalor tertinggi dicapai pada suhu 330 °C yakni sebesar 6.282 cal/g.

Kata kunci : Hidrotermal, biomassa, yield, nilai kalor

PENDAHULUAN

Biomassa merupakan salah satu sumber energi alternatif yang paling menjanjikan, dan ketersediaannya bisa dari berbagai sumber (Lim et al., 2012). Energi dari biomassa akan menjadi komponen utama pada sistem energi yang berkelanjutan di masa yang akan datang (Gao et al., 2011). Salah satu sumber biomassa yang banyak dijumpai di Indonesia adalah kelapa. Pohon kelapa tumbuh subur di tanah berpasir dan tanah bergaram di iklim tropis. Produk utama kelapa adalah minyak kelapa, kelapa kering, kelapa segar, dan kopra. Produk samping kelapa yaitu tempurung kelapa, serabut kelapa, dan daun kelapa (Shinya and Yukihiro, 2008). Tempurung kelapa di Indonesia sangat melimpah. Menurut Irawan, dkk., (2017) sekitar 360 ribu ton per tahun tempurung kelapa dihasilkan di Indonesia. Namun demikian, pemanfaatannya masih sangat sedikit. Tempurung kelapa awalnya hanya dianggap sebagai limbah dan kemudian digunakan untuk keperluan domestik seperti pengasapan dan juga untuk keperluan rumah tangga yang mengakibatkan meningkatnya polusi udara (Budi, 2011). Proses pembakaran tempurung kelapa menghasilkan banyak asap karena kandungan *volatile matter* yang tinggi menyebabkan tempurung kelapa menghasilkan CO₂ yang relatif lebih banyak. Hal tersebut dapat menyebabkan meningkatnya kadar CO₂ di udara yang berdampak pada efek rumah kaca. Tempurung kelapa memiliki kandungan yang baik untuk menghasilkan produk berbasis karbon karena memiliki kandungan karbon yang cukup tinggi seperti yang ditunjukkan pada tabel 1. Pemanfaatan tempurung kelapa sebagai bahan bakar membutuhkan proses konversi terlebih dahulu untuk memperoleh sumber energi yang lebih ramah lingkungan. Salah satu proses konversi yang menjanjikan untuk memperoleh bahan bakar ramah lingkungan yaitu proses hidrotermal.

Hidrotermal merupakan metode konversi secara termokimia yang menarik karena mampu mengubah biomassa yang basah menjadi energi dan bahan kimia tanpa proses pengeringan terlebih dahulu. Ada dua macam hidrotermal yang paling sering digunakan yaitu *hydrothermal liquefaction* yang menghasilkan cairan sebagai produk utamanya dan *hydrothermal carbonization* yang menghasilkan arang (padatan) sebagai produk utamanya (Akhtar and Amin, 2010). Pada proses hidrotermal air digunakan sebagai media sekaligus sebagai reaktan untuk membantu dekomposisi unsur penyusun biomassa seperti hemiselulosa, selulosa, dan lignin menjadi produk bahan bakar

yang diinginkan. Selain itu, air lebih aman karena tidak beracun, murah dan sangat ramah lingkungan (Jindal and Jha, 2015). Suhu sangat mempengaruhi proses hidrotermal karbonisasi, dimana proses yang digunakan pada kondisi *subcritical water* yang membantu air lebih mudah untuk masuk ke dalam biomassa pada proses dekomposisi biomassa tersebut. Pada kondisi tersebut, air tetap dalam fase cair dan beberapa sifat air mengalami perubahan seperti densitas, konstanta dielektrik, dan disosiasi air. Perubahan densitas air menjadi lebih rendah pada kondisi *subcritical water* akan mempermudah untuk mendekomposisi biomassa sehingga dapat mempercepat laju reaksi yang terjadi (Pedersen, 2016). Air juga mengalami perubahan disosiasi yang menyebabkan air terionisasi menjadi ion H⁺ dan OH⁻ (Benjamin, 2002) dan konstanta dielektrik mengalami penurunan yang menyebabkan air yang bersifat polar menjadi non polar sehingga air lebih afinitif terhadap hidrokarbon yang sebagian besar merupakan molekul non polar (Zhang, 2010).

Para peneliti terdahulu telah meneliti mengenai proses hidrotermal karbonisasi dengan menggunakan berbagai bahan baku dan kondisi operasi yang berbeda. Pada penelitian yang dilakukan oleh Jian et al., (2017) yaitu hidrotermal karbonisasi dengan menggunakan sekam padi sebagai bahan baku. Bahan baku yang digunakan tersebut melalui proses pengeringan dengan menggunakan oven pada suhu 65 °C selama 24 jam. Pada penelitian tersebut diperoleh bahwa semakin tinggi suhu operasi maka *yield* yang diperoleh juga semakin rendah. Pada penelitian Chen et al., (2017) dengan menggunakan limbah ubi dan melalui proses pengeringan pada suhu 105 °C selama 24 jam juga memperoleh *yield* dan kandungan karbon (C) meningkat seiring meningkatnya suhu yang mengakibatkan meningkatnya nilai kalor arang yang dihasilkan. Pada penelitian Zhang et al., (2018) dengan menggunakan serbuk gergaji bambu melalui proses pengeringan pada suhu 105 °C selama 24 jam diperoleh *yield* arang menurun dan nilai kalor meningkat seiring meningkatnya suhu operasi yang digunakan. Dalam penelitian ini digunakan tempurung kelapa sebagai bahan baku hidrotermal karbonisasi tanpa melalui proses pengeringan terlebih dahulu.

Penelitian ini bertujuan untuk untuk mempelajari pengaruh suhu terhadap karakteristik produk padat hidrotermal yang meliputi: nilai kalor, *volatile matter* (VM), *fixed carbon* (FC), kadar air, dan kadar abu.

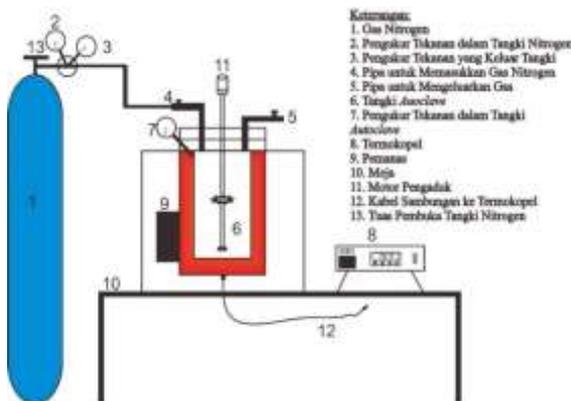
METODE PENELITIAN

Penelitian yang dilakukan menggunakan alat *autoclave* sebagai reaktor seperti yang ditunjukkan pada gambar 1 dan bahan tempurung kelapa dan air sebagai bahan baku pembuatan arang dari proses hidrotermal karbonisasi. Tempurung kelapa dibeli di pasar dan akuades (air) dibeli di general labora. Penelitian dilakukan di laboratorium teknologi minyak bumi, gas, dan batubara, Departemen Teknik Kimia, Universitas Gadjah Mada (UGM), Yogyakarta. Tempurung kelapa terlebih dahulu dihaluskan menggunakan *grinder* kemudian di ayak menggunakan *sieve* sehingga diperoleh ukuran $-32+48$ mesh, kemudian dimasukkan ke dalam reaktor dengan B/W rasio 1:20 (7,5 gr:150 ml) pada suhu 240, 270, 300, dan 330 °C. Hasil analisis proksimat bahan baku disajikan dalam Tabel 1.

Kemudian gas N₂ dimasukkan ke dalam reaktor sampai 5 bar untuk *purging* sebanyak tiga kali untuk memastikan tidak ada udara yang tertinggal dalam reaktor. Gas N₂ kembali dimasukkan sampai 10 bar. Pemanas dan pengaduk dinyalakan dari suhu ruangan sampai mencapai suhu yang diinginkan, kemudian proses dipertahankan selama 30 menit. Setelah proses selesai, reaktor dibiarkan dingin sampai mencapai suhu ruangan kemudian produk yang diperoleh disaring dengan bantuan *vacum filter* untuk memisahkan padatan dari cairan yang diperoleh. Padatan (arang) yang diperoleh di oven pada suhu 110 °C sampai berat konstan kemudian *yield* arang dihitung dan dianalisis ultimat, proksimat, dan nilai kalor untuk mengetahui kualitas arang yang dihasilkan.

Tabel 1. Analisis proksimat dan nilai kalor tempurung kelapa.

Parameter	% berat (<i>air-dried basis</i>)
Moisture content	11,54
Ash	1,48
Volatile matter	69,16
Fixed carbon	17,82
Nilai Kalor (kal/g)	4.283

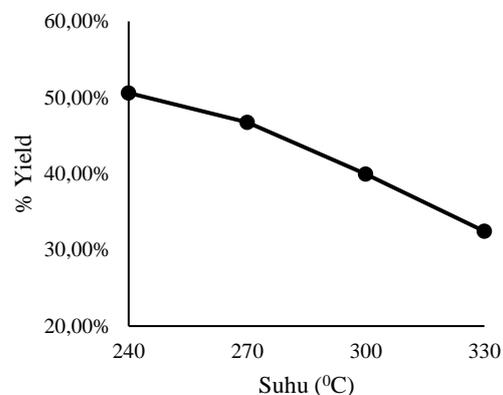


Gambar 1. Rangkaian alat penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

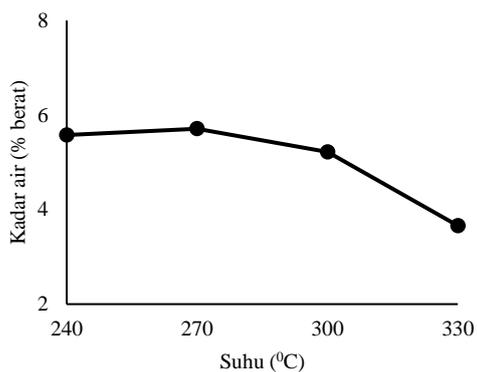
Pada proses hidrotermal karbonisasi, *yield* padatan yang dihasilkan semakin menurun seiring meningkatnya suhu yang digunakan seperti yang ditunjukkan pada gambar 2. Dari grafik tersebut diperoleh bahwa suhu sangat berpengaruh terhadap proses degradasi biomassa yang digunakan. Peningkatan suhu mengakibatkan menurunnya *yield* padatan yang dihasilkan karena adanya proses dekomposisi yang terjadi pada proses hidrotermal biomassa. Semakin tinggi suhu operasi yang digunakan, maka semakin rendah *yield* padatan yang dihasilkan karena semakin tinggi suhu maka semakin banyak biomassa yang terdekomposisi dan larut dalam air sehingga *yield* padatan yang diperoleh semakin rendah.

Dari gambar 2 *yield* padatan mengalami penurunan yang relatif konstan seiring meningkatnya suhu operasi yang digunakan. Hasil *yield* yang diperoleh yaitu 50,60% (240 °C); 46,73% (270 °C); 39,96% (300 °C); dan 32,44% (330 °C). Dari data tersebut diperoleh bahwa semakin tinggi suhu operasi maka reaksi dekomposisi biomassa semakin intensif pada kondisi *subcritical water*. Hal ini terjadi karena senyawa yang dapat menurunkan nilai kalor produk padatan semakin banyak yang terdekomposisi.



Gambar 2. Profil *yield* pada berbagai suhu

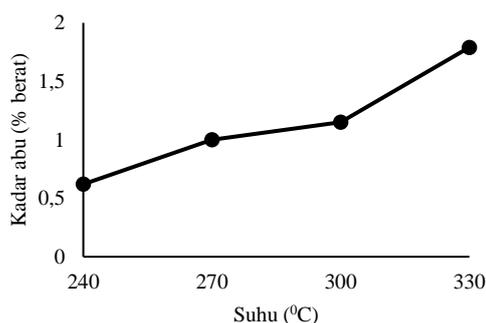
Kadar air mengalami penurunan seiring meningkatnya suhu operasi yang digunakan seperti yang ditunjukkan pada gambar 3. Hal tersebut terjadi karena pada saat hidrotermal berlangsung senyawa-senyawa yang mudah mengikat air (selulosa, hemiselulosa) semakin banyak yang terdekomposisi pada suhu yang semakin tinggi. Hal tersebut menyebabkan kadar air semakin menurun seiring meningkatnya suhu operasi yang digunakan.



Gambar 3. Profil kadar air pada berbagai suhu

Pada gambar 3 terlihat semakin tinggi suhu operasi yang digunakan pada proses hidrotermal, maka kadar air juga mengalami penurunan yang cukup signifikan dibandingkan dengan bahan baku yang memiliki kadar air yang relatif lebih tinggi yaitu 11,54%. Diperoleh kadar air yaitu 5,58% (240 °C); 5,71% (270 °C); 5,22% (300 °C); dan 3,66% (330 °C). Dari data tersebut membuktikan bahwa semakin tinggi suhu maka semakin rendah kadar air yang terkandung dalam produk padatan hidrotermal karbonisasi.

Selain kadar air yang mengalami penurunan, kadar abu mengalami peningkatan pada saat proses hidrotermal berlangsung. Hal ini terjadi karena kadar anorganik yang terkandung dalam biomassa sangat sulit mengalami proses degradasi sehingga kadar abu sulit larut dalam air. Kadar abu pada gambar 4 terlihat meningkat karena komponen yang lainnya mengalami penurunan seperti kadar air, dan *volatile matter* sehingga kadar abu terlihat meningkat terhadap kandungan padatan yang diperoleh.



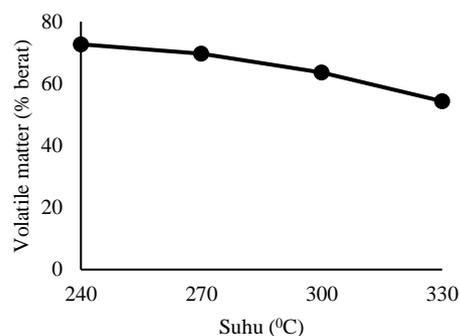
Gambar 4. Profil kadar abu pada berbagai suhu

Seperti yang ditunjukkan pada gambar 4 terlihat bahwa kadar abu semakin meningkat seiring meningkatnya suhu operasi yang digunakan yaitu 0,62% (240 °C); 1,00% (270 °C); 1,15% (300 °C); dan 1,79% (330 °C). Kandungan anorganik yang terkandung dalam biomassa relatif sulit terdegradasi oleh air sehingga kadar abu

mengalami peningkatan karena kadar air dan *volatile matter* mengalami penurunan.

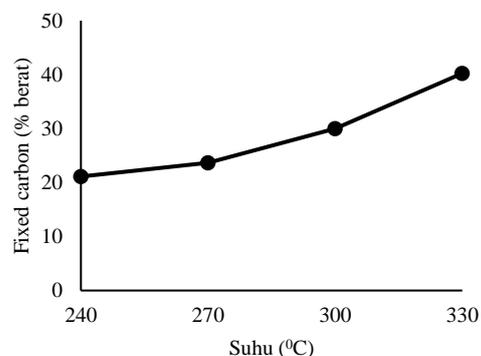
Volatile matter (zat terbang) merupakan material yang mudah menguap yang terkandung dalam biomassa. *Volatile matter* juga mengandung senyawa organik yang bersifat ekstraktif dan juga sangat mempengaruhi kualitas arang yang dihasilkan. Hal ini karena zat terbang merupakan yang paling tinggi kandungannya dalam tempurung kelapa dan keberadaannya cenderung menurunkan nilai kalor. *Volatile matter* juga mengalami penurunan seiring meningkatnya suhu operasi yang digunakan seperti yang ditunjukkan pada gambar 5.

Dari gambar 5 memperlihatkan bahwa semakin tinggi suhu operasi yang digunakan, maka semakin banyak senyawa organik yang terdekomposisi. Dapat dilihat bahwa *volatile matter* menurun seiring meningkatnya suhu operasi yang digunakan yaitu 72,68% (240 °C); 69,65% (270 °C); 63,62% (300 °C); dan 54,32% (330 °C).



Gambar 5. Profil *volatile matter* pada berbagai suhu

Pada percobaan ini diperoleh *fixed carbon* meningkat seiring meningkatnya suhu yang digunakan. Seperti yang terlihat pada gambar 6, peningkatan *fixed carbon* yang terkandung dalam arang hasil hidrotermal cukup signifikan. Peningkatan kadar *fixed carbon* tersebut juga sangat mempengaruhi kualitas arang yang dihasilkan.



Gambar 6. Profil *fixed carbon* pada berbagai suhu

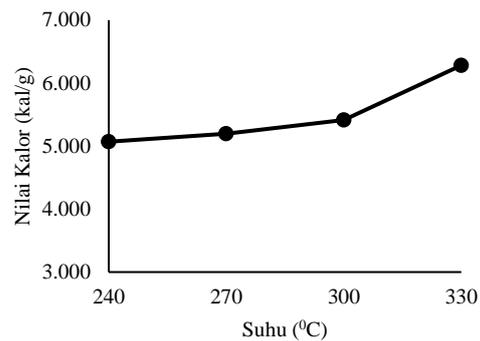
Fixed carbon pada arang hasil hidrotermal karbonisasi mengalami peningkatan dibandingkan dengan bahan baku. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu yang digunakan dapat meningkatkan reaksi dekomposisi tempurung kelapa yang tidak bereaksi terhadap fragmen dan dapat meningkatkan reaksi aromatisasi dan repolimerisasi untuk menghasilkan arang. Pada bahan baku tempurung kelapa, kadar *fixed carbon* yaitu 17,82% sedangkan pada arang hasil hidrotermal kadar *fixed carbon* mengalami peningkatan yaitu 21,12% (240 °C); 23,64% (270 °C); 30,01% (300 °C); dan 40,23% (330 °C). Dari data tersebut menunjukkan adanya peningkatan kualitas arang hasil hidrotermal seiring meningkatnya suhu yang digunakan. Proses hidrotermal menyebabkan kadar *fixed carbon* juga meningkat karena *volatile matter*, dan kadar air mengalami penurunan.

Analisis ultimat pada arang juga dilakukan untuk mengetahui jumlah kandungan elemen yang diperoleh dari arang hasil hidrotermal seperti yang ditunjukkan pada tabel 2. Beberapa elemen yang terkandung dalam arang hasil hidrotermal mengalami peningkatan seiring meningkatnya suhu operasi yang digunakan seperti kadar karbon (C), nitrogen (N), dan sulfur (S). Ada pula elemen yang mengalami penurunan seiring meningkatnya suhu yang digunakan antara lain kadar hidrogen (H) dan oksigen (O).

Tabel 1. Analisis ultimat pada berbagai suhu

Kondisi	Kandungan elemen (% berat)				
	C	H	O	N	S
Bahan baku	45,34	6,21	46,84	0,11	0,02
240 °C	54,42	6,03	38,77	0,13	0,03
270 °C	55,62	5,94	37,30	0,11	0,03
300 °C	57,96	5,81	34,90	0,15	0,03
330 °C	66,23	5,23	26,53	0,17	0,05

Dari tabel 3 terlihat bahwa kadar hidrogen (H) dan oksigen (O) mengalami penurunan disebabkan oleh reaksi dekarboksilasi dan dehidrasi yang terjadi sehingga menyebabkan *yield* padatan juga mengalami penurunan (Reza et al., 2018). Untuk memperoleh arang hasil hidrotermal yang berkualitas baik, maka kadar karbon (C) harus meningkat dan kadar oksigen (O) harus menurun karena oksigen merupakan salah satu elemen yang dapat menurunkan nilai kalor arang yang dihasilkan.



Gambar 7. Profil nilai kalor pada berbagai suhu

Nilai kalor merupakan hal yang paling menentukan kualitas arang hasil hidrotermal yang dilakukan. Semakin tinggi nilai kalor yang diperoleh, maka semakin baik kualitas arang sebagai bahan bakar yang dihasilkan. Nilai kalor merupakan nilai panas pembakaran suatu bahan bakar dan sangat bergantung pada kadar air, *volatile matter*, kadar abu, dan *fixed carbon* yang terkandung dalam arang yang dihasilkan. Gambar 7 menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu operasi yang digunakan, maka semakin tinggi nilai kalor yang dihasilkan.

Hal ini disebabkan karena kadar *volatile matter*, kadar air, dan kadar abu menurun dan juga meningkatnya kadar *fixed carbon* sehingga nilai kalor meningkat, begitu pun sebaliknya. Pada gambar 7 diperoleh nilai kalor yang meningkat dari 4.283 kal/g (bahan baku) menjadi 5.070 kal/g (240 °C), 5.198 kal/g (270 °C), 5.412 kal/g (300 °C), dan 6.282 kal/g (330 °C). Dari data tersebut nilai kalor yang paling tinggi dihasilkan pada suhu 330 °C karena pada suhu tersebut kadar air dan *volatile matter* merupakan yang paling rendah dibandingkan dengan suhu 240, 270, dan 300 °C. Hal ini menunjukkan bahwa suhu yang digunakan sangat mempengaruhi kualitas bahan bakar padat yang dihasilkan.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa suhu sangat mempengaruhi kualitas bahan bakar padat hasil hidrotermal karbonisasi. Semakin tinggi suhu maka kualitas arang yang dihasilkan semakin baik. Peningkatan kualitas bahan bakar padat yang dihasilkan tersebut ditandai dengan adanya peningkatan nilai kalor dan *fixed carbon* yang dihasilkan dan menurunnya kadar yang lain seperti *volatile matter*, kadar air, dan kadar abu. Dari hasil penelitian tersebut diperoleh nilai kalor meningkat dari 4.283 kal/g (bahan baku) menjadi 5.070 kal/g (240 °C), 5.198 kal/g (270 °C), 5.412 kal/g (300 °C), dan 6.282 kal/g (330 °C).

⁰C), dan 6.282 kal/g (330 ⁰C). Jadi, semakin tinggi suhu operasi yang digunakan maka semakin tinggi kualitas bahan bakar padat yang dihasilkan, namun *yield* padatan mengalami penurunan karena kandungan *volatile matter* juga berkurang sebagai akibat dekomposisi yang terjadi pada kondisi hidrotermal.

DAFTAR PUSTAKA

- AKHTAR, J. & AMIN, N. A. S., 2010. A Review on Process Connditions for Optimum Bio-Oil Yield in Hydrothermal Liquefaction of Biomass. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, XV(3), pp. 1615-1624.
- BENJAMIN, M., 2002. *Water Chemistry*. 1st penyunt. New York: McGraw Hill.
- BUDI, E., 2011. Tinjauan Proses Pembentukan dan Penggunaan Arang Tempurung Kelapa sebagai Bahan Bakar. *Jurnal Penelitian Sains*, pp. 25-29.
- CHEN, X., MA, X., PENG, X., LIN, Y., & YAO, Z., 2017. Conversion of Sweet Potato waste to Solid Fuel via Hydrothermal Carbonization. *Bioresource Technology*, pp. 900-907.
- GAO, Y., WANG, X.-H., YANG, H.-P. & CHEN, H.-P., 2011. Characterization of Products from Hydrothermal Treatments of Cellulose. *Energy*, Issue 42, pp. 457-465.
- IRAWAN, A., UPE, S., L. & DWI, I.P., MEITY., 2017. Effect of Torrefaction Process on The Coconut Shell Energy Content for Solid Fuel. *Renewable Energy Technology and Innovation for Sustainable Development*, pp. 1-7.
- JIAN, X., ZHUANG, X., LI, B., XU, X., WEI, Z., SONG, Y., & JIANG, E., 2017. Comparison of Characterization and Adsorption of Biochars Produced from Hydrothermal Carbonization and Pyrolysis. *Environmental Technology & Innovation*, pp. 27-35.
- JINDAL, M. K., & JHA, M., 2015. Effect of Process Conditions on Hydrothermal Liquefaction of Biomass. *IJCS Research Paper*, II(8), pp. 8-18.
- LIM, J. S., MANAN, Z. A., ALWI, S. R. & WASHIM, H., 2012. A Review on Utilization of Biomass from Rice Industry as a Source of Renewable Energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, p. 16.
- PEDERSEN, T. H., 2016. *Hydrothermal Liquefaction of Biomass and Model Compounds*, Denmark: s.n.
- REZA, M. T., POULSON, S. R., ROMÁN, S. & CORONELLA, C. J., 2018. Behaviour of Stale Carbon and Stable Nitrogen Isotopes during Hydrothermal Carbonization of Biomass. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, pp. 85-92.
- SHINYA, Y. & YUKIHIKO, M., 2008. *The Asian Biomass Handbook*. Jepang: The Japan Institute of Energy.
- ZHANG, S., SU, Y., XU, D., ZHU, S., ZHANG, H., & LIU, X., 2018. Assessment of Hydrothermal Carbonization and Coupling Washing with Torrefaction of Bamboo Sawdust for Biofuels Production. *Bioresource Technology*, pp. 111-118.
- ZHANG, Y., 2010. Hydrothermal Liquefaction to Convert Biomass into Crude Oil. *Biofuels from Agricultural Wastes and Byproducts*.