

Pengaruh variasi rasio biomassa dan air terhadap kualitas hasil char hidrotermal (Water content's effect on the hydrothermal pyrolysis's produced char):

Widya Wijayanti¹, Lilis Yuliati, Purnami, Mega Nur Sasongko, Musyaroh, Haditiyawardana
Departemen Teknik Mesin, Universitas Brawijaya, Malang

¹widya_dinata@ub.ac.id

ABSTRACT

The purpose of this research is to better understand the provision of water content in thermochemical conversion. In the conventional pyrolysis process, biomass is heated without any water content, with the moisture content of the biomass attempting to be as minimized as possible. In the case of hydrothermal pyrolysis, adding water content is intended to boost the pyrolysis process, where liquid and gas products can decompose quickly at high pressure, yielding the greatest amount of fixed carbon. This investigation used mahogany wood biomass derived from craft waste and was conducted at a pressure of 5 bar. Each experiment was carried out with different biomass-to-water ratios of 1:3, 1:4, 1:5, and 1:6, where the biomass mass was 200 grams. Both hydrothermal and pyrolysis processes are typically carried out at a temperature of 200°C and a holding time of 60 minutes. The resulting char is then calculated for volume and mass before being analyzed using proximate analysis. Furthermore, char is tested for calorific value to determine its energy potential. In this study, the fixed carbon content increased, with the highest fixed carbon content occurring in a 1:6 water biomass ratio, amounting to 22.4% with a calorific value of 5560.9 (cal/gram). It should be recognized that the calorific value of untreated mahogany sawdust is 2598.1 (cal/gram). The result indicated that adding a high water content to the hydrothermal process resulted in a high calorific value and energy yield, which was the precise opposite of the conventional pyrolysis process. Furthermore, with a high water content, the fixed carbon produced is higher. This means that the hydrothermal process has a high potential for use as an energy conversion process to produce the appropriate alternative fuel effectively and efficiently.

Keywords: water content, hydrothermal, pyrolysis, char

Received 30 September 2023; **Presented** 5 October 2023; **Publication** 27 May 2024

PENDAHULUAN

Kayu mahoni memiliki kualitas sedikit di bawah kayu jati sehingga sering dijuluki sebagai primadona kedua dalam pasar kayu. Selain kayunya, bagian-bagian lain dari pohon mahoni juga dapat dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan hidup manusia. Manfaat pohon mahoni antara lain biji pohon mahoni dapat digunakan sebagai obat penyakit tertentu, daunnya dapat digunakan sebagai pakan ternak, dan lain sebagainya. Pohon Mahoni dapat mengurangi polusi udara berkisar 47%-69%. Daunnya dapat menyerap polutan-polutan udara dan juga menghasilkan banyak Oksigen (O₂).

Dalam proses produksinya batang kayu mahoni tidak semuanya habis dipakai, contohnya dalam industri furniture, kayu mahoni dipotong sesuai dengan bentuk dan ukuran yang diinginkan. Sisa dari potongan kayu mahoni yang tidak terpakai merupakan limbah. Sisa kayu mahoni tersebut merupakan biomassa yang dapat digunakan untuk mendapatkan tar dan char dengan cara hidrotermal. Dimana biomassa adalah suatu bahan organik yang diperoleh dari berbagai spesies

tanaman, limbah perkebunan, dan kotoran hewan. Limbah biomassa yang berasal dari pertanian, industri maupun rumah tangga, dalam jumlah besar dapat menjadi pencemaran lingkungan apabila tidak dikelola dengan baik. Selama ini limbah biomassa hanya dibuang dan dibakar begitu saja, padahal biomassa merupakan potensi sebagai sumber energi alternatif menggantikan bahan bakar fosil yang jumlahnya semakin menipis dari tahun ke tahun. Biomassa pun merupakan satu-satunya sumber energi terbarukan dari karbon yang dapat digunakan untuk memproduksi zat kimia, material dan juga bahan bakar.

Biomassa dapat dikonversi menjadi berbagai jenis produk bahan bakar dengan proses konversi termokimia. Proses tersebut dapat dibagi menjadi pirolisis dan hidrotermal. Hidrotermal sendiri dibagi menjadi tiga, yaitu hidrotermal liquefaction, hidrotermal gasification, dan hidrotermal carbonization. Ketiga jenis hidrotermal tersebut dibedakan sesuai produk yang ingin dicapai (liquid, gas, dan solid). Hidrotermal carbonization memiliki beberapa keuntungan, yaitu dapat mengurangi volume biomassa dalam

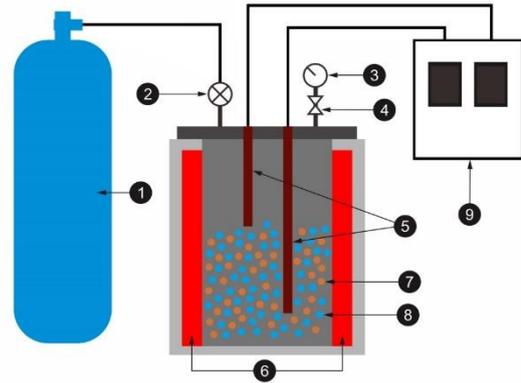
waktu yang singkat, tidak berbau, tidak membutuhkan proses pengeringan biomassa, produk steril dan higienis karena menggunakan tekanan kerja yang tinggi [1].

Jumlah air yang digunakan dalam reaksi HTC harus cukup untuk memastikan penyebaran biomassa dalam media reaksi, yang mana menghasilkan reaksi hidrotermal yang lebih optimal. Namun, perlu dicatat bahwa penggunaan jumlah air tersebut akan mempengaruhi energi yang dibutuhkan. Semakin banyak jumlah air yang digunakan maka akan membutuhkan energi yang semakin tinggi untuk memanaskan air dan biomassa tersebut sampai pada kondisi reaksi. Penelitian ini ditujukan untuk mempertimbangkan rasio antara biomassa dan air yang optimal sehingga menghasilkan nilai kalor dan kadar fixed carbon yang tinggi.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode *true experimental*. Untuk menunjang penelitian ini, studi menggunakan jurnal dari penelitian sebelumnya, mempelajari buku-buku dan teori yang sudah ada menjadi salah satu tahap dalam melakukan penelitian ini. Penelitian ini akan mencari pengaruh rasio biomassa dan air terhadap hasil dari metode hidrotermal yang dapat dilihat pada kualitas produk padat yang dihasilkan dengan proses tersebut.

Serbuk kayu mahoni ditimbang 200 gram setiap percobaan. Lalu dimasukkan kedalam tabung reaktor dan dicampur dengan air demineral. Setelah reaktor ditutup, nitrogen dialirkan selama 5 menit ke dalam tabung reaktor untuk menghilangkan oksigen. Nitrogen juga digunakan untuk gas pengisi tabung reaktor yang diisi hingga mencapai tekanan 5 bar. Setiap percobaan dilakukan dengan variasi rasio biomassa dan air 1:3, 1:4, 1:5, dan 1:6 pada massa biomassa tetap 200 gram. Setiap proses hidrotermal dilakukan pada temperatur 200°C dan *holding time* 60 menit. Setelah proses selesai, *thermocontroller* dimatikan dan *char* dikeringkan sebelum ditimbang untuk mengetahui nilai *mass yield*. Lalu, *char* yang dihasilkan dianalisa proksimat dan diuji untuk menentukan nilai kalor pada setiap rasio biomassa dan air.



Keterangan gambar:

1. Nitrogen
2. Inlet Valve
3. Pressure Gauge
4. Pressure Valve
5. Termokopel
6. Heater
7. Serbuk Kayu Mahoni
8. Air Demineral
9. Thermocontroller

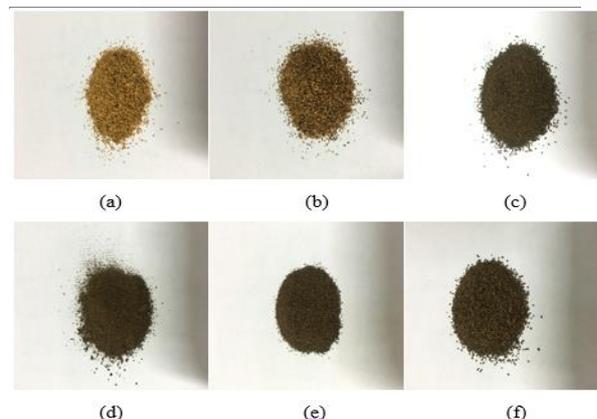
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan keterkaitan hubungan antara hasil penambahan kadar air pada proses hidrotermal yang dihasilkan terutama pada kualitas *char* yang dihasilkan.

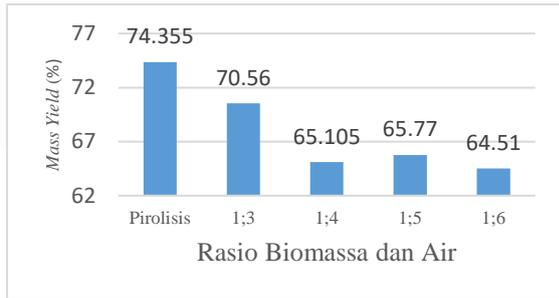
Efek rasio biomassa dan air terhadap mass yield

Tabel 1. *Mass Yield* Produk Hasil Hidrotermal

Rasio Bio-massa: Air	Massa Awal (gr)	Massa Akhir (gr)	Mass Yield (%)
Pirolisis	200	148,71	74,35
1:3	200	141,21	70,56
1:4	200	130,21	65,10
1:5	200	131,54	65,77
1:6	200	129,02	64,51



Gambar 1 *Char* hasil hidrotermal (a) raw, (b) pirolisis, (c) rasio 1:3, (d) rasio 1:4, (e) rasio 1:5, (f) rasio 1:6.

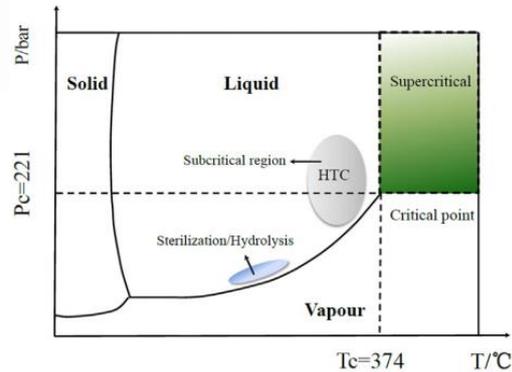


Gambar 2 Mass Yield Char Hidrotermal

Pada pengujian mass yield, temperatur yang digunakan pada setiap variasi adalah 200°C dan holding time 1 jam. Pada grafik diatas dapat dilihat bahwa semakin besar rasio yang digunakan maka akan menghasilkan mass yield yang lebih sedikit. Nilai mass yield yang besar mengindikasikan biomassa tersebut tidak terdegradasi dengan baik. Pengaruh rasio biomassa dan air, semakin besar rasio menyebabkan karbonisasi yang lebih tinggi. Hal ini sesuai dengan peningkatan reaksi hidrolisis karena jumlah air yang meningkat [2]. Pada biomassa kayu mahoni terdapat 3 komponen utama, yaitu hemiselulosa, selulosa, dan lignin. Mahoni merupakan salah satu jenis kayu keras, dimana pada jenis kayu tersebut memiliki komponen utama hemiselulosa. Hemiselulosa dapat mulai terdekomposisi pada temperatur 180°C - 200°C. Pada pengambilan data hidrotermal menggunakan temperatur kerja 200°C pada setiap variasi. Sehingga pada temperatur tersebut hemiselulosa akan terdekomposisi, yang akan menyebabkan penurunan massa akhir produk.

Jika dibandingkan hasil char dengan menggunakan metode pirolisis dan hidrotermal, char yang dihasilkan dari metode hidrotermal memiliki *mass yield* yang lebih kecil dibandingkan dengan yang menggunakan metode hidrotermal. Pada kedua metode ini pengambilan data terjadi pada kondisi temperatur dan holding time yang sama yaitu 200°C dan 1 jam. Air pada proses hidrotermal memiliki peran yang sangat penting pada proses tersebut. Selain bekerja sebagai media reaksi, juga sebagai katalis. Proses hidrotermal terjadi di wilayah subkritis air, seperti yang ditunjukkan pada gambar 3. diketahui bahwa karakteristik air berubah secara signifikan dalam kondisi subkritis. Pada peningkatan temperatur di bawah 374°C, terjadi penurunan konstanta dielektrik yang menyebabkan ikatan hidrogen air akan melemah dan menghasilkan konstanta ionisasi tinggi. Selanjutnya, air subkritis tersebut akan menyediakan konsentrasi H^+ yang tinggi jika dibandingkan dengan air

pada kondisi normal, yang merupakan media yang sangat baik untuk reaksi organik [3][U1].



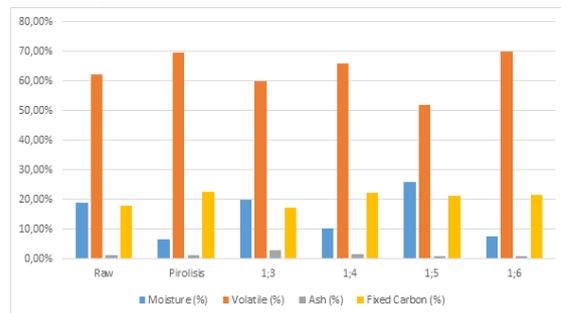
Gambar 3 Diagram Properti air

Analisa proksimat

Tabel 2 Analisa Proksimat Hidrotermal

Analisa Proksimat	Rasio Biomassa dan Air					
	Raw	Pirolisis	1:3	1:4	1:5	1:6
Moisture (%)	18,70%	6,60%	20%	10,10%	25,80%	7,60%
Volatile (%)	62,3%	69,7%	59,9%	66,0%	52,0%	69,80%
Ash (%)	1,2%	1,3%	3,0%	1,6%	1,0%	1,00%
Fixed Carbon (%)	17,8%	22,4%	17,1%	22,3%	21,2%	21,6%

Analisa proksimat digunakan untuk menentukan kualitas dari batubara dan bahan bakar padat lainnya. Kandungan karbon dari char dari proses karbonisasi sangat bervariasi tergantung dari kandungan lainnya [4] [U2]. Ada banyak faktor yang mempengaruhi hasil dari analisa proksimat tersebut, seperti temperatur, tekanan, waktu reaksi, desain reaktor, dan lain-lain. Pada pengujian kali ini akan mempelajari pengaruh rasio biomassa dan air terhadap hasil analisa proksimat pada temperatur 200°C dan holding time 1 jam.



Gambar 4 Grafik Analisa Proksimat Hasil Hidrotermal

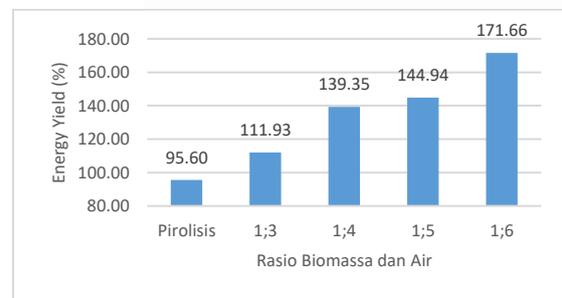
Kandungan volatile matter memengaruhi kesempurnaan pembakaran dan intensitas api yang dihasilkan oleh char. Fixed carbon atau karbon tertambat adalah karbon yang terdapat pada char. Karbon ini menjadi komponen utama char yang mampu menghasilkan panas pada proses pembakaran.

Biomassa yang mana mengandung komponen utama selulosa, hemiselulosa akan lebih mudah terurai daripada lignin selama proses *hydrothermal carbonization* (HTC). Ini juga menjelaskan kenapa nilai kalori dan peningkatan kadar karbon paling banyak setelah proses HTC adalah biomassa yang memiliki kandungan selulosa lebih dominan [5]. [U3]Lebih dari 90% hemiselulosa mulai terurai dalam kisaran temperatur 180-220°C. temperatur hidrolisis biomassa dimulai pada 180°C [6] Sedangkan lignin berbeda, kurang dari 10% lignin terurai dibawah 250°C [7]. [U4]Pada proses suhu 160°C, biomassa hanya mengalami proses pengeringan, dan *char* tidak terbentuk. Pada grafik diatas dapat dilihat bahwa kenaikan *fixed carbon* dari biomassa *raw* ke rasio 1:6 memiliki kecenderungan yang semakin naik. Seperti yang diharapkan, nilai kalor akan naik sebanding dengan peningkatan kadar *fixed carbon*, sementara semakin besar rasio biomassa dan air akan menyebabkan penurunan *solid yield* [8]. [U5]Pada pengaruh rasio biomassa dan air, semakin banyak air yang digunakan maka *volatile matter* akan semakin besar, namun *fixed carbon* yang dihasilkan semakin tinggi juga. Hal ini dapat terjadi karena pengaruh *ash* yang dihasilkan semakin sedikit seiring dengan penambahan air. Selain itu *moisture content* juga mempengaruhi banyaknya *fixed carbon* yang dihasilkan. Pada grafik diatas nilai *fixed carbon* maksimal terjadi pada variasi 1:4 dimana nilai tersebut sekitar 5% lebih besar dari kadar karbon biomassa *raw*.

Efek rasio biomassa dan air terhadap energy yield

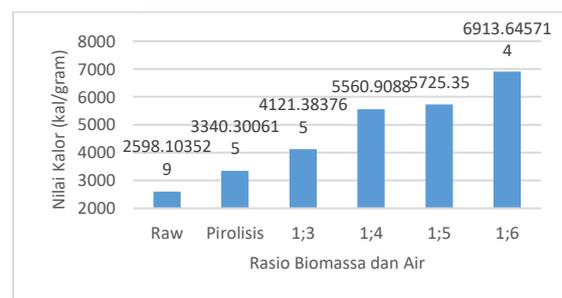
Pada grafik diatas dapat diamati bahwa semakin besar rasio air yang digunakan akan semakin besar pula nilai energy yield, hal tersebut dapat terjadi karena terjadi kenaikan nilai kalor seiring dengan pertambahan rasio air dan biomassa. Nilai energy yield yang tinggi mengindikasikan produk *char* tersebut memiliki nilai yang optimal sebagai bahan bakar padat akibat fungsi dari massa. Seperti yang sudah dibahas, kenaikan rasio biomassa dan air akan menurunkan nilai mass yield akibat dari proses hidrolisis yang lebih dominan karena jumlah air yang besar. Namun pada nilai kalor terjadi perbedaan, kenaikan rasio biomassa dan air justru meningkatkan nilai kalornya. Peningkatan reaksi dekomposisi menyebabkan hilangnya massa dan nilai kalor yang lebih signifikan meningkat [9]. [U6]Seiring pertambahan rasio biomassa dan air akan

menurunkan nilai enrgy yield meskipun dalam penurunan nilai yang tidak signifikan. Pada penelitian ini berbeda hasil energy yield yang disebabkan oleh kenaikan nilai kalor akibat fungsi rasio biomassa dan air, tidak sebanding dengan penurunan mass yield. Sehingga nilai energy yield meningkat meskipun nilai mass yield menurun. Faktor lain yang mempengaruhi adalah jenis biomassa yang digunakan. Beberapa biomassa dapat memiliki kandungan selulosa, hemiselulosa, dan lignin pada kadar yang berbeda. Hal ini jelas sangat mempengaruhi hasil energy yield karena pada biomassa yang memiliki kandungan lignin yang lebih banyak cenderung akan sulit terdekomposisi pada temperatur yang rendah.



Gambar 5 Grafik Hubungan Rasio Biomassa dan Air Terhadap Energy Yield

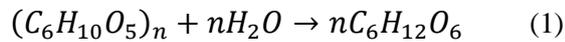
Efek rasio biomassa dan air terhadap nilai kalor



Gambar 6 Grafik Hubungan Rasio Biomassa dan Air Terhadap Nilai Kalor

Pada grafik diatas dapat ditinjau bahwa semakin besar rasio air dan biomassa maka akan menghasilkan nilai kalor yang semakin besar juga. Proses hidrotermal memecah struktur fisik dan kimia menjadi molekul yang lebih kecil. Biomassa mentah biasanya memiliki kandungan *volatile matter* dan oksigen yang tinggi. Dengan meningkatnya jumlah air yang digunakan, reaksi yang terjadi semakin efisien karena media air menyediakan konsentrasi hidrogen H^+ yang

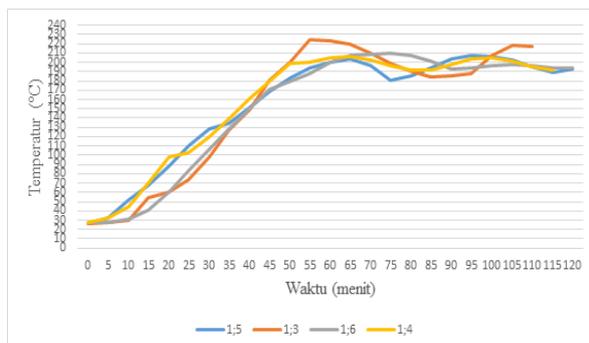
lebih besar akibat proses hidrolisis sehingga media reaksi tersebut menjadi lebih baik. Zat yang mudah menguap akan menurun sedangkan fixed carbon dan nilai kalor sedikit meningkat yang dipengaruhi oleh reaksi hidrolisis. Air pada temperatur ruangan memiliki konstanta dielektrik 78,5 dan pada temperatur 250 memiliki nilai 27,1. Konstanta dielektrik dalam konteks pelarut dapat dijadikan sebagai pengukur relatif dari kepolaran suatu pelarut. Semakin tinggi konstanta dielektrik yang dimiliki suatu zat, maka zat tersebut bersifat polar, begitupun sebaliknya. Suatu zat yang cenderung mendekati nonpolar memiliki stabilitas yang rendah dan mudah bereaksi. Pada penelitian ini menggunakan temperatur kerja 200°C, dimana jika temperatur semakin tinggi, molekul air di dalam tabung reaktor akan semakin cepat bergerak sehingga menyebabkan proses hidrolisis terjadi.



Seperti yang dicontohkan pada contoh reaksi hidrolisis selulosa diatas. Senyawa selulosa terpecah akibat bereaksi dengan molekul air sehingga menghasilkan senyawa glukosa. Hal tersebut didukung juga oleh sifat pelarut yang mengalami penurunan nilai konstanta dielektriknya.

Pengaruh jumlah air yang digunakan menentukan nilai kalor yang dihasilkan. Semakin banyak air yang digunakan, maka pada reaksi hidrolisis yang terjadi akan semakin menyeluruh. Hasil penelitian dari pengaruh rasio didapatkan nilai kalor tertinggi terjadi pada rasio biomassa dan air 1:6 yaitu 6913,64 (kal/gram). Hal ini membuktikan bahwa pada rasio 1:6 memiliki nilai kalor yang tertinggi, karena hidrolisis terjadi secara merata dan menyebabkan dekomposisi yang semakin optimal, sehingga menyebabkan nilai kalornya tinggi.

Analisa waktu terhadap temperatur pada proses hidrotermal



Gambar 7 Grafik Waktu terhadap Temperatur Proses Hidrotermal

Pada pengujian ini digunakan temperatur dan holding time yang seragam pada setiap variasi rasio, yaitu 200°C dan 1 jam. Temperatur awal(ruangan) berada di sekitar 26-27°C. dari keempat variasi tersebut, rasio 1:4 lebih cepat untuk sampai ke temperatur 200°C, yaitu selama sekitar 111 menit. Sedangkan untuk waktu terlama terjadi pada variasi rasio 1:6, yaitu sekitar 119 menit. Pada variasi 1:6 justru memiliki nilai kalor dan energy yield yang tertinggi, namun konsekuensi dari itu adalah membutuhkan waktu reaksi yang lama. Hal tersebut terjadi karena semakin banyak air yang digunakan maka membutuhkan waktu yang lebih lama untuk mencapai temperatur kerja. Grafik tersebut menunjukkan keseragaman dari masing-masing pengujian agar nantinya setiap variasi data dapat dianalisis, dan hasilnya dapat dibandingkan satu sama lain. Pada awal-awal pemanasan yaitu pada temperatur di bawah 50°C, waktu yang dibutuhkan lebih banyak dibandingkan temperature di atas 50°C. Analisis lainnya yaitu pada temperatur holding terjadi fluktuatif yang diakibatkan oleh dibutuhkannya waktu untuk merambatnya panas dari heater terhadap Thermocouple dalam biomassa karena terjadi hambatan pada tabung reaktor. Pada kondisi holding time fluktuasi temperatur yang terjadi masih dalam ±10°C dari temperatur 200°C.

KESIMPULAN

Penelitian yang bertujuan untuk mempelajari pengaruh rasio biomassa dan air ini dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Nilai mass yield yang besar mengindikasikan biomassa tidak terdekomposisi dengan baik selama proses. Semakin besar rasio menyebabkan tingkat karbonisasi yang lebih rendah akibat dari peningkatan reaksi hidrolisis karena jumlah air yang meningkat.
2. Biomassa akan kehilangan lebih banyak volatile matter jika air yang digunakan semakin sedikit yang menyebabkan kenaikan kadar fixed carbon.
3. Energy yield merupakan parameter penting untuk menentukan efisiensi proses terhadap nilai kalornya. Pada rasio biomassa dan air yang besar memiliki nilai energy yield yang besar akibat dari kenaikan nilai kalor seiring dengan pertambahan rasio biomassa dan air.
4. Metode hydrothermal carbonization menghasilkan char yang memiliki nilai

kalor dan energy yield yang lebih besar jika dibandingkan dengan metode pirolisis.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Universitas Brawijaya yang telah mendukung penelitian ini melalui program hibah penelitian Guru Besar tahun 2023.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Libra *et al.* 2011. "Hydrolysis Of Cellulosa And Hemicellulose".
- [2] Ahtar, Javaid. 2010. "A review on process conditions for optimum bio-oil yield hydrothermal liquefaction of biomass".
- [3] Savage, PE. 1999. *Organic chemical reaction in supercritical water*:603-22.
- [4] Hwang, I.H., Aoyama, H., Matsuo, T., Nakagishi, T., and Matsuo, T., (2012), *Recovery of Solid Fuel from Municipal Solid Waste by Hydrothermal Treatment Using Subcritical Water, Waste Management*, 32(3), pp. 410-416.
- [5] Eriska *et al.*, 2012 "Hydrothermal carbonization of biomass waste by Using Stirred Reactor: An Initial Experimental Results".
- [6] Bobleter, O., (1994), *Hydrothermal Degradation of Polymers Derived from Plants, Progress in Polymer Science*, 19(5), pp. 797-841.
- [7] Libra, J.A., Ro, K.S., Kammann, C., Funked, A., Berge, N.D., Neubauer, Y., Titirici, M.M., Fühner, C., Bens, O., Kern, J., and Emmerich, K.H., (2011), *Hydrothermal Carbonization of Biomass Residuals: A Comparative Review of the Chemistry, Processes and Applications of Wet and Dry Pyrolysis, Biofuels*, 2(1), pp. 71–106.
- [8] S. Roman, J.M.V. Nabais, C. Laginhas, B. Ledesma, J.F. Gonzalez. 2012. *Hydrothermal Carbonization as an Effective Way of Densifying The Energy Content of Biomass, Fuel Process. Technol.* 103.
- [9] Sermiyagina *et al.*, 2015. *Journal of analytical and applied pyrolysis*.