

Pengaruh Jenis Biomassa dan Waktu Pirolisis terhadap Kualitas Biochar sebagai Bahan Bakar Padat Terbarukan

Sulfitri*, A. Suryanto, Ruslan Kalla

Prodi Magister Teknik Kimia, Program Pascasarjana, Universitas Muslim Indonesia, Makassar, Indonesia.

sulfitrisuardi@gmail.com, a.suryanto@umi.ac.id, ruslankalla@umi.ac.id

Abstract. Sigi has an untapped biomass potential, thus encouraging the use of biomass waste as a renewable energy source. This study aims to analyze the effect of biomass type and pyrolysis time on biochar quality and evaluate its suitability as a solid fuel. The study used a quantitative experimental method with biochar objects produced from rice husk biomass and mixed biomass (corn cobs, coffee husks, and cocoa husks) in a ratio of 30%:50%:20%. Pyrolysis was carried out at a temperature of 400°C with time variations of 60, 90, 120, 150, and 180 minutes. Data were analyzed based on parameters such as water content, ash content, volatile matter content, bound carbon, and calorific value, then compared with SNI 1683:2021. The results showed that the mixed biomass produced better quality biochar, characterized by a calorific value of 5,410 cal/g, bound carbon of 73,27%, and ash content of 2,06%. The best results were mixed biomass for 150 minutes with a moisture content of 3.95%, ash content of 2,90%, volatile matter content of 35.76%, bound carbon content of 74,85%, and a calorific value of 5,606 cal/g. Increasing pyrolysis time improved the carbonization quality. All samples met the moisture content requirements, but did not meet all the quality parameters of wood charcoal. Optimization of the carbonization process is needed to improve the quality of biochar so that it is suitable for development as a renewable solid fuel.

Keywords: *Biochar, Biomass, Pyrolysis Time.*

Abstrak. Kabupaten Sigi memiliki potensi biomassa yang belum dimanfaatkan secara optimal, sehingga mendorong pemanfaatan limbah biomassa sebagai sumber energi terbarukan. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh jenis biomassa dan waktu pirolisis terhadap kualitas biochar serta mengevaluasi kesesuaiannya sebagai bahan bakar padat. Penelitian menggunakan metode kuantitatif eksperimental dengan objek biochar yang dihasilkan dari biomassa sekam padi dan biomassa campuran (tongkol jagung, kulit kopi, dan kulit kakao) rasio 30%:50%:20%. Pirolisis dilakukan pada suhu 400°C dengan variasi waktu 60, 90, 120, 150, dan 180 menit. Data dianalisis berdasarkan parameter kadar air, kadar abu, kadar zat terbang, karbon terikat, dan nilai kalor, kemudian dibandingkan dengan SNI 1683:2021. Hasil menunjukkan biomassa campuran menghasilkan biochar dengan kualitas lebih baik, ditandai nilai kalor 5.410 kal/g, karbon terikat 73,27%, dan kadar abu 2,06%. Hasil terbaik yaitu biomassa campuran selama 150 menit memiliki kadar air 3,95%, kadar abu 2,90%, kadar zat terbang 35,76%, karbon terikat 74,85%, dan nilai kalor 5.606 kal/g. Peningkatan waktu pirolisis meningkatkan kualitas karbonisasi. Seluruh sampel memenuhi persyaratan kadar air, namun belum memenuhi seluruh parameter mutu arang kayu. Optimasi proses karbonisasi diperlukan untuk meningkatkan kualitas biochar sehingga layak dikembangkan sebagai bahan bakar padat terbarukan.

Kata Kunci: *Biochar, Biomassa, Waktu Pirolisis.*

A. Pendahuluan

Di tingkat nasional, Indonesia terus mengalami ketergantungan terhadap energi fosil yang tinggi, dengan bauran energi primer yang masih dominan oleh batubara dan minyak, sementara kontribusi biomassa dan energi terbarukan lainnya relatif kecil meskipun ketersediaannya melimpah (BPPT, 2023). Pemerintah Indonesia menargetkan bauran energi baru dan terbarukan (EBT) mencapai minimal 23% pada tahun 2025 sebagai bagian dari implementasi Kebijakan Energi Nasional (KEN) yang diatur dalam Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014 dan dijabarkan dalam Peraturan Presiden Nomor 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional (RUEN). Target tersebut ditetapkan untuk mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil sekaligus mendukung ketahanan energi nasional.

Kabupaten Sigi memiliki areal pertanian dan perkebunan yang luas. Berdasarkan data dari Dinas Tanaman Pangan, Hortikultura dan Perkebunan kabupaten Sigi (2025), luas lahan pertanian di Kabupaten Sigi mencapai 15.280 Ha. Sedangkan lahan perkebunan diungguli oleh perkebunan kakao yang mencapai 28.997 Ha dan perkebunan kopi mencapai 4.144 Ha. (BPS Kab. Sigi, 2025). Produktivitas panen padi mencapai 142.779,8 ton, jagung sebesar 57.881,7 ton, kopi sebesar 509,7 ton, dan kakao sebesar 17.523,8 ton pada tahun 2025 (BPS Kab. Sigi, 2026).

Biochar adalah produk padat hasil pirolisis biomassa pada kondisi terbatas oksigen yang memiliki kandungan karbon tinggi dan karakteristik energi yang lebih baik dibandingkan biomassa mentah, sehingga potensial sebagai bahan bakar padat alternatif pengganti sebagian bahan bakar fosil. Produksi biochar melalui proses pirolisis menghasilkan bahan padat kaya karbon dengan potensi energi yang relatif tinggi (Lehmann dan Joseph, 2015). Pemanfaatan biochar sebagai bahan bakar padat sangat dipengaruhi oleh karakteristik bahan baku, salah satunya kandungan senyawa kimianya, seperti selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Sekam padi mengandung selulosa (38%), hemiselulosa (18%), dan lignin (22%) (Solihudin et al., 2020). Tongkol jagung mengandung selulosa 40,07%, (Mantika et al., 2024), hemiselulosa (26%) dan lignin (6%). Kulit kopi mengandung selulosa (27,26%), hemiselulosa (11,65%), dan lignin (21,6%). Kulit kakao mengandung selulosa (31,25%), hemiselulosa (48,64%) dan lignin (20,11%) (Eko Prastya Putra et al., n.d.)

Variabilitas mutu ini menimbulkan persoalan serius ketika biochar dimanfaatkan sebagai bahan bakar padat biomassa, karena kinerja energi, stabilitas pembakaran, dan keamanan penggunaan sangat ditentukan oleh karakteristik mutu fisik dan kimianya. Untuk menjamin kualitas mutu biochar yang dihasilkan dapat lakukan pengujian sesuai standar yang berlaku. SNI 1683:2021 tentang arang kayu, yang mengatur parameter mutu utama meliputi kadar air, kadar abu, zat terbang, karbon terikat, dan nilai kalor (BSN, 2021). Standar ini berfungsi sebagai acuan mutu minimum untuk menjamin kinerja energi, efisiensi pembakaran, dan keamanan penggunaan bahan bakar tersebut.

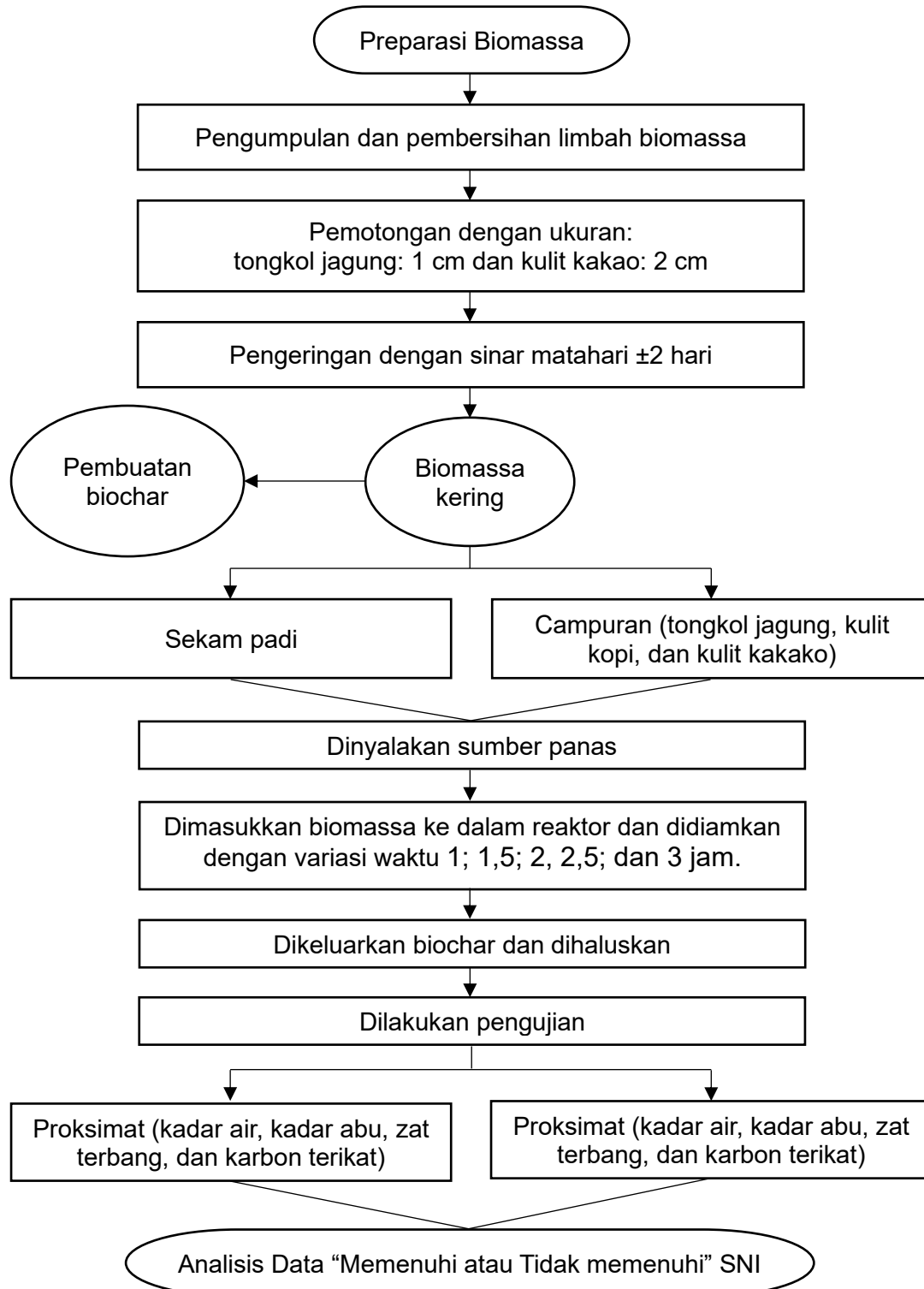
Berbagai penelitian sebelumnya telah melaporkan bahwa jenis biomassa dan kondisi operasi pirolisis memberikan pengaruh yang signifikan terhadap karakteristik biochar yang dihasilkan. Namun demikian, penelitian yang membandingkan mutu biochar dari biomassa pertanian dan perkebunan yang banyak tersedia di Indonesia, khususnya sekam padi, tongkol jagung, kulit kopi, dan kulit kakao, masih relatif terbatas. Sebagian besar penelitian hanya berfokus pada satu jenis biomassa sehingga informasi mengenai karakteristik mutu biochar dari beberapa jenis biomassa dalam kondisi pengujian yang sama masih belum banyak dilaporkan. Kondisi tersebut menunjukkan adanya research gap yang perlu dikaji untuk memperoleh informasi mengenai biomassa yang memiliki potensi terbaik sebagai bahan bakar padat terbarukan.

Penelitian ini bertujuan menganalisis karakteristik mutu biochar dari berbagai jenis biomassa melalui pengujian laboratorium serta mengevaluasi potensi pemanfaatannya sebagai bahan bakar padat terbarukan. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan informasi ilmiah mengenai pemanfaatan limbah biomassa sebagai sumber energi alternatif, mendukung pengelolaan limbah pertanian yang lebih berkelanjutan, serta menjadi dasar pengembangan biochar sebagai energi terbarukan di Indonesia.

B. Metode

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan eksperimental laboratorium untuk menganalisis karakteristik mutu biochar berbahan baku biomassa pertanian sebagai bahan bakar padat terbarukan. Variabel bebas meliputi jenis bahan baku yaitu biomassa sekam padi dan biomassa campuran (tongkol jagung, kulit kakao, dan kulit kakao) dan waktu pirolisis yaitu

60, 90, 120, 150, dan 180 menit. Selanjutnya dilakukan pengujian berdasarkan parameter kadar air, kadar abu, kadar zat terbang dan kadar karbon terikat, serta nilai kalor untuk mengetahui karakteristik mutu biochar. Berikut alur prosedur kerja dalam penelitian ini.



Gambar 1. Alur Prosedur Kerja

C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Karakterisasi adalah proses analisis untuk mengetahui sifat fisik, kimia dan struktur biochar untuk mengetahui kualitas serta kesesuaiannya dalam penggunaannya, seperti sebagai bahan bakar.

Karakterisasi dilakukan untuk memastikan agar biochar yang dihasilkan memiliki karakteristik yang sesuai dengan standar dan dapat memberikan kinerja yang optimal pada aplikasi yang diinginkan. Karakterisasi biochar adalah tahap yang penting dalam mengendalikan mutu biochar, karena sifat ini sangat dipengaruhi oleh jenis biomassa, suhu pirolisis, waktu karbonisasi, dan kondisi proses produksi.

Hasil Karakterisasi Biochar

Pengujian karakteristik dilakukan terhadap analisis proksimat yaitu kadar air, kadar abu, zat terbang, karbon tetap, dan analisis nilai kalor. Parameter tersebut digunakan untuk menggambarkan kualitas biochar yang dimanfaatkan sebagai bahan bakar padat. Hasil pengujian karakteristik kedua jenis biomassa tersebut disajikan dalam tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Karakteristik Biochar Biomassa Sekam Padi dan Biomassa Campuran (Tongkol Jagung, Kulit Kopi, dan Kulit Kakao)

Kode Sampel	Waktu Pirolisis (Menit)	Kadar Air (%)	Kadar Abu (%)	Kadar Zat Terbang (%)	Kadar Karbon Terikat (%)	Nilai Kalor (kal/g)
A1	60	3,44	1,41	29,35	63,87	3772
A2	90	3,38	1,48	29,93	64,37	3756
A3	120	3,28	2,54	30,96	63,45	3678
A4	150	3,23	1,18	33,53	66,05	3757
A5	180	3,06	1,25	33,17	66,42	3762
Rata-rata		3,28	1,57	31,39	64,83	3745
B1	60	5,27	1,17	31,41	70,99	5420
B2	90	4,83	1,27	33,57	71,53	5193
B3	120	4,68	2,98	34,41	72,07	5366
B4	150	3,95	2,90	35,76	74,85	5606
B5	180	3,62	1,96	36,87	76,89	5466
Rata-rata		4,47	2,06	34,40	73,27	5410

Keterangan :

A= Biomassa sekam padi; B= Biomassa campuran (tongkol jagung, kulit kopi, dan kulit kakao)

Berdasarkan tabel 1, terdapat perbedaan karakteristik yang cukup jelas antara biochar biomassa sekam padi (A) dan biochar biomassa campuran (B). Rata-rata kadar air sampel A sebesar 3,28%, kadar abu 1,57%, zat terbang 31,39%, karbon terikat 64,83%, dan nilai kalor 3745 kal/g. Sementara itu, sampel B memiliki rata-rata kadar air 4,47%, kadar abu 2,06%, zat terbang 34,40%, karbon terikat 73,27%, dan nilai kalor 5410 kal/g. Dengan demikian perbandingan setiap parameter dari kedua jenis biomassa tersebut adalah penggunaan biomassa campuran menghasilkan nilai kalor lebih tinggi sekitar 44,46%, karbon tetap lebih tinggi sekitar 13,02%, dan kadar abu yang lebih rendah sekitar 23,79% dibandingkan dengan biomassa sekam padi. Sebaliknya, kadar air dan zat terbang pada biomassa campuran masing-masing lebih tinggi sekitar 36,28% dan 9,60% dibandingkan biomassa sekam padi. Secara umum, hasil tersebut menunjukkan bahwa biomassa campuran menghasilkan karakteristik energi yang lebih baik daripada sekam padi, terutama karena mempunyai kadar abu lebih rendah, karbon tetap lebih tinggi, dan nilai kalor lebih tinggi.

Analisis dan Pembahasan

Kadar Air (*Moisure Content*)

Biochar yang memiliki kadar air rendah umumnya memiliki kualitas sebagai bahan bakar yang baik karena energi yang dihasilkan selama pembakaran tidak banyak digunakan untuk menguapkan air, sehingga proses pembakaran berlangsung lebih efisien dan menghasilkan nilai kalor yang lebih tinggi (Tomczyk et al., 2020). Semakin rendah kadar air biochar, maka semakin baik kualitas biochar yang dihasilkan karena kandungan air yang rendah menunjukkan proses karbonisasi berlangsung lebih sempurna dan menghasilkan material karbon yang lebih stabil (Singh Karam et al., 2022).

Pada penelitian ini, kadar air sampel A1–A5 berkisar antara 3,06–3,44%, dengan rata-rata 3,28%, sedangkan sampel B1–B5 berada pada kisaran 3,62–5,27%, dengan rata-rata 4,47%. Kadar air

terendah ditemukan pada sampel A5 dengan waktu pirolisis 180 menit sebesar 3,06%, sedangkan kadar air tertinggi ditemukan pada sampel B1 dengan waktu pirolisis 60 menit sebesar 5,27%. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa biomassa campuran cenderung mempertahankan air lebih banyak dibandingkan sekam padi. Salah satu penyebabnya adalah adanya kulit kopi dan kulit kakao yang mempunyai karakteristik berbeda dalam hal higroskopisitas dan struktur bahan. Penelitian oleh (Ramadhani et al., 2021) dilaporkan bahwa limbah kopi mempunyai sifat lebih higroskopis dibandingkan sekam padi sehingga campuran yang mengandung kopi dapat mempunyai kadar air lebih tinggi.

Pada kedua jenis biomassa terlihat adanya kecenderungan penurunan kadar air seiring bertambahnya waktu pirolisis dari 60 menit menjadi 180 menit. Selama proses berlangsung, air yang terikat pada pori-pori biomassa akan menguap terlebih dahulu sebelum terjadinya dekomposisi hemiselulosa, selulosa, dan lignin. Oleh karena itu, waktu tinggal (*residence time*) yang lebih lama memungkinkan pelepasan kadar air berlangsung lebih sempurna sehingga menghasilkan biochar dengan kadar air yang lebih rendah (Tripathi et al., 2016).

Kadar Abu (*Ash Content*)

Kadar abu menunjukkan jumlah residu anorganik yang tertinggal setelah bahan mengalami pemanasan atau pembakaran. Parameter ini penting dalam evaluasi bahan bakar biomassa karena abu tidak memberikan kontribusi energi selama pembakaran. Dengan demikian, kandungan abu yang tinggi cenderung menurunkan proporsi bahan organik yang dapat menghasilkan energi dan dapat menghambat pembakaran dan menyebabkan residu pembakaran yang lebih banyak. Kadar abu yang rendah lebih diinginkan dalam pemanfaatan biochar sebagai bahan bakar padat karena semakin sedikit residu pembakaran yang dihasilkan, maka efisiensi pembakaran meningkat, nilai kalor menjadi lebih tinggi, serta mengurangi pembentukan kerak (*slagging*) (Bushra & Remya, 2020).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa dalam rentan waktu pembakaran dari 60-180 menit, biomassa sekam padi mempunyai kadar abu sebesar 1,18–2,54%, dengan rata-rata 1,57%, sedangkan biomassa campuran mempunyai kadar abu 1,17–2,98%, dengan rata-rata 2,06%. Nilai kadar abu terendah pada sekam padi diperoleh pada waktu pirolisis 150 menit (1,18%), sedangkan kadar abu tertinggi terjadi pada waktu pirolisis 120 menit (2,54%). Pada biomassa campuran, kadar abu terendah diperoleh pada waktu pirolisis 60 menit (1,17%), sedangkan nilai tertinggi mencapai 2,98% pada waktu pirolisis 120 menit. Pada kedua jenis biomassa terjadi fluktuasi kadar abu selama proses pirolisis. Hal ini menunjukkan bahwa kadar abu tidak hanya dipengaruhi oleh lamanya karbonisasi, tetapi juga oleh komposisi mineral yang terkandung dalam bahan baku. Selama pirolisis, senyawa organik mengalami dekomposisi menjadi gas dan tar, sedangkan komponen mineral tetap tertinggal sebagai residu anorganik sehingga proporsi abu dipengaruhi oleh kandungan mineral awal biomassa (Yanti et al., 2024).

Apabila dibandingkan dengan SNI 1683:2021 tentang Arang Kayu, seluruh sampel biochar pada penelitian ini memenuhi persyaratan kadar abu. SNI 1683:2021 menetapkan bahwa kadar abu maksimum arang kayu adalah lebih kecil dari 4% baik untuk mutu pertama maupun mutu kedua. Nilai kadar abu biochar penelitian ini berada pada rentang 1,17-2,98%, sehingga masih berada jauh dibawah batas maksimum yang ditetapkan.

Kadar Zat Terbang (*Volatile Matter*)

Zat terbang adalah jumlah senyawa organik yang akan menguap ketika bahan dipanaskan pada suhu tinggi tanpa adanya oksigen. Komponen zat terbang terdiri atas gas-gas mudah terbakar seperti karbon monoksida (CO), hidrogen (H₂), metana (CH₄), hidrokarbon ringan, uap air, serta senyawa organik volatil hasil dekomposisi hemiselulosa, selulosa, dan sebagian lignin. Semakin tinggi kadar zat terbang, semakin mudah biochar mengalami penyalan (*ignition*), tetapi pembakarannya cenderung menghasilkan asap lebih banyak dan waktu pembakaran menjadi lebih singkat. Sebaliknya, kadar zat terbang yang lebih rendah menunjukkan proses karbonisasi berlangsung lebih sempurna sehingga menghasilkan biochar dengan kandungan karbon terikat yang lebih tinggi dan kualitas bahan bakar yang lebih baik (Basu, 2018).

Tabel 1 menunjukkan bahwa kadar zat terbang biomassa sekam padi berada pada rentang 29,35–33,53%, dengan rata-rata 31,39%, sedangkan biomassa campuran berada pada rentang 31,41–36,87%, dengan rata-rata 34,40%. Nilai terendah terdapat pada A1 (60 menit) sebesar 29,35%, sedangkan nilai tertinggi terdapat pada B5 (180 menit) sebesar 36,87%. Pada biomassa campuran zat terbang rata-rata lebih tinggi daripada sekam padi, dengan demikian biomassa campuran

menghasilkan zat terbang lebih tinggi dibandingkan dengan sekam padi. Perbedaan kadar zat terbang ini berkaitan dengan karakteristik kimia masing-masing biomassa. Sekam padi memiliki kandungan silika yang tinggi serta lignoselulosa yang berbeda dibandingkan tongkol jagung, kulit kopi, dan kulit kakao. Biomassa campuran umumnya masih menyimpan hemiselulosa dan lignin yang lebih besar sehingga selama pemanasan menghasilkan senyawa volatil dalam jumlah lebih banyak dibandingkan sekam padi. Komposisi bahan baku merupakan faktor utama penentu kadar zat terbang pada biochar selain suhu dan kondisi pirolisis (Bridgwater, 2012).

Hasil penelitian ini sejalan dengan beberapa penelitian yang melaporkan bahwa biomassa dari limbah pertanian masih dapat memiliki kadar zat terbang relatif tinggi apabila proses pirolisis dilakukan pada suhu sedang. Biochar hasil pirolisis biomassa pada suhu rendah hingga menengah masih mengandung fraksi volatil yang cukup besar karena dekomposisi hemiselulosa dan lignin belum berlangsung sempurna (Enders et al., 2012). Penelitian (Babinszki et al., 2024), juga menunjukkan bahwa karakteristik zat terbang sangat dipengaruhi oleh kondisi pirolisis, terutama suhu, tekanan, dan jenis biomassa, sehingga biochar yang diproduksi pada kondisi tertentu masih memiliki kandungan volatil relatif tinggi.

Kadar Karbon Terikat (*Fixed Carbon*)

Karbon terikat menggambarkan fraksi karbon padat yang masih tersisa setelah kadar air, zat terbang (*volatile matter*), dan kadar abu dikeluarkan dari biomassa. Kadar karbon terikat yang tinggi menunjukkan bahwa biochar memiliki kandungan karbon yang lebih besar sehingga mampu menghasilkan energi panas yang lebih tinggi, durasi pembakaran lebih lama, serta pembakaran yang lebih stabil. Oleh karena itu, karbon terikat sering dijadikan indikator utama dalam menentukan mutu bahan bakar padat berbasis biomassa (Basu, 2018).

Berdasarkan hasil pengujian pada tabel 1, kadar karbon terikat biochar berada pada kisaran 63,45-79,89%. Biochar dari biomassa sekam padi memiliki kadar karbon terikat sebesar 63,87% (60 menit), 64,37% (90 menit), 63,45% (120 menit) kemudian mengalami peningkatan pada waktu pirolisis 150 menit menjadi 66,05% dan kembali mengalami sedikit penurunan menjadi 66,42% pada waktu pirolisis 180 menit. Sebaliknya, biochar dari biomassa campuran menunjukkan nilai karbon terikat yang lebih tinggi, yaitu 70,99% (60 menit), 71,533% (90 menit), 72,07% (120 menit), meningkat menjadi 74,85% (150 menit), dan 76,89% (180 menit). Hasil tersebut menunjukkan bahwa biochar biomassa campuran memiliki kandungan karbon tetap yang lebih tinggi dibandingkan biochar sekam padi sehingga berpotensi memberikan kualitas bahan bakar yang lebih baik.

Perbedaan kadar karbon terikat antara kedua jenis biomassa dipengaruhi oleh komposisi kimia bahan baku, khususnya kandungan lignin, selulosa, dan hemiselulosa. Biomassa campuran umumnya memiliki kandungan lignin lebih tinggi dibandingkan sekam padi. Selama proses karbonisasi, lignin mengalami dekomposisi secara bertahap dan menghasilkan residu karbon yang lebih stabil sehingga meningkatkan kadar karbon terikat pada biochar. Sebaliknya, sekam padi mengandung silika dalam jumlah tinggi sehingga proporsi karbon yang tersisa setelah proses pirolisis menjadi lebih rendah dibandingkan biomassa berlignin tinggi (Bridgwater, 2012). Hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa pada biochar sekam padi terjadi sedikit penurunan karbon terikat seiring bertambahnya waktu pirolisis, sedangkan pada biomassa campuran kadar karbon terikat cenderung meningkat. Hal ini mengindikasikan bahwa respons setiap biomassa terhadap proses pirolisis berbeda-beda. Pada biomassa campuran, proses pirolisis yang berlangsung lebih lama memungkinkan terbentuknya struktur karbon aromatik yang lebih stabil sehingga meningkatkan fraksi karbon tetap. Sebaliknya, pada sekam padi kemungkinan terjadi peningkatan fraksi abu akibat tingginya kandungan mineral, terutama silika, sehingga persentase karbon terikat menurun (Lehman & Joseph, 2015).

Nilai Kalor

Nilai kalor adalah jumlah energi panas yang dilepaskan ketika bahan dibakar secara sempurna. Nilai kalor merupakan salah satu parameter utama dalam mengevaluasi potensi biomassa sebagai bahan bakar karena secara teoritis semakin besar nilai kalor, maka semakin besar energi yang dapat diperoleh dari massa bahan yang sama.

Table 1 memperlihatkan bahwa nilai kalor biomassa sekam padi berada pada rentang 3.678–3.772 kal/g dengan rata-rata 3.745 kal/g, sedangkan biomassa campuran berada pada rentang 5.193–5.606 kal/g dengan rata-rata 3.745 kal/g, dengan demikian biomassa campuran memberikan

peningkatan nilai kalor rata-rata sebesar 1.665 kal/g, atau sekitar 44,46% dibandingkan sekam padi. Peningkatan nilai kalor tersebut sejalan dengan beberapa karakteristik proksimat pada biomassa campuran. Biomassa campuran mempunyai kadar abu lebih rendah dan karbon terikat lebih tinggi dibandingkan biomassa sekam padi, walaupun tingginya kadar zat terbang menjadi faktor pembatas terhadap stabilitas bahan bakar. Kadar abu yang lebih rendah berarti proporsi material anorganik yang tidak menghasilkan energi lebih sedikit, sedangkan karbon tetap yang lebih tinggi menunjukkan proporsi fraksi karbon yang lebih besar.

Nilai kalor tertinggi pada biomassa campuran terdapat pada B4 (150 menit) sebesar 5.606 kal/g, sedangkan nilai terendah terdapat pada B2 (90 menit) sebesar 5.193 kal/g. Pada biomassa sekam padi, nilai kalor tertinggi terdapat pada A1 (60 menit) sebesar 3.772 kal/g, sedangkan terendah terdapat pada A3 (120 menit) sebesar 3.678 kal/g. Variasi nilai kalor antarperlakuan dapat berkaitan dengan perbedaan komposisi kimia bahan, kandungan abu, kadar karbon tetap, serta kondisi proses karbonisasi. Penelitian oleh (Taufik, 2012), menunjukkan bahwa jenis biomassa dan temperatur pirolisis dapat menghasilkan perbedaan nilai kalor yang besar. Pada temperatur 500°C, biochar sekam padi mencapai nilai kalor 7.111 kal/g, sedangkan biochar tongkol jagung mencapai 3.705 kal/g. Jika dibandingkan dengan penelitian tersebut, nilai kalor biomassa sekam padi dalam penelitian ini lebih rendah dari pada 7.111 kal/g, sedangkan nilai kalor biomassa campuran lebih tinggi daripada nilai kalor biochar tongkol jagung. Perbedaan ini memperlihatkan bahwa komposisi campuran tiga biomassa pada penelitian ini dapat menghasilkan karakteristik yang berbeda dari penggunaan tongkol jagung atau sekam padi secara tunggal. Berdasarkan hasil tersebut, peningkatan nilai kalor pada biomassa campuran merupakan hasil yang positif dibandingkan biomassa sekam padi. Namun, rata-rata nilai kalor biomassa campuran sebesar 5.410 kal/g masih berada di bawah persyaratan SNI 1683:2021 untuk arang kayu yang mensyaratkan nilai kalor minimum 6500 kal/g. Sementara itu, dalam SNI 01-6235-2000 nilai kalor minimum briket arang kayu adalah 5.000 kal/g, dengan demikian seluruh biochar dari biomassa sekam padi tidak memenuhi persyaratan nilai kalor, sedangkan seluruh biochar dari biomassa campuran jika dijadikan briket arang telah memenuhi persyaratan nilai kalor karena seluruh nilainya berada di atas 5.000 kal/g (BSN, 2000).

D. Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa jenis biomassa dan waktu pirolisis memengaruhi karakteristik mutu biochar yang dihasilkan. Biochar dari biomassa campuran (tongkol jagung, kulit kopi, dan kulit kakao) menghasilkan kualitas yang lebih baik dibandingkan biochar sekam padi, ditunjukkan oleh nilai kalor rata-rata yang lebih tinggi (5.410 kal/g) dan kadar karbon terikat yang lebih besar (73,27%). Peningkatan waktu pirolisis cenderung menurunkan kadar air serta meningkatkan kadar karbon terikat, meskipun kadar abu dan zat terbang menunjukkan fluktuasi sesuai karakteristik masing-masing biomassa. Berdasarkan evaluasi terhadap SNI 1683:2021 tentang Arang Kayu, seluruh sampel memenuhi persyaratan kadar air dan kadar abu, sedangkan biomassa campuran juga hampir memenuhi persyaratan kadar karbon terikat. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa biomassa campuran berpotensi lebih baik sebagai bahan baku biochar untuk bahan bakar padat dibandingkan biomassa sekam padi, sehingga berpotensi dikembangkan sebagai sumber energi terbarukan berbasis limbah pertanian dan perkebunan.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Pascasarjana Teknik Kimia, Universitas Muslim Indonesia atas fasilitas dan dukungan yang diberikan. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada dosen pembimbing atas bimbingannya dalam penyelesaian penelitian ini. Apresiasi turut disampaikan kepada seluruh pihak yang telah berkontribusi, baik secara langsung maupun tidak langsung, sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

Daftar Pustaka

Babinszki, B., Czirok, I. S., Johnson, R., Sebestyén, Z., Jakab, E., Wang, L., Turn, S., Skreiberg, Ø., & Czégény, Z. (2024). Volatile matter characterization of birch biochar produced under pressurized conditions. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 149(19), 10915–10926. <https://doi.org/10.1007/s10973-024-13381-4>

- Bridgwater, A. V. (2012). Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading. *Biomass and Bioenergy*, 38, 68–94. <https://doi.org/10.1016/J.BIOMBIOE.2011.01.048>
- Eko Prastya Putra, A., Destiara Sekolah Tinggi Ilmu Pertanian Belitang JlnKampus Pertanian No, Y., & KabOKU Timur ProvSumatera Selatan, B. (n.d.). *Potensi dan Respon Masyarakat pada Pengolahan Kulit Kakao Menjadi Krupuk di Desa Sidomakmur Kecamatan Belitang Kabupaten OKU Timur*.
- Enders, A., Hanley, K., Whitman, T., Joseph, S., & Lehmann, J. (2012). Characterization of biochars to evaluate recalcitrance and agronomic performance. *Bioresource Technology*, 114, 644–653. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2012.03.022>
- Izzatunnisaa, F., & Endang Prasetyaningsih. (2022). Perencanaan Produksi dan Persediaan untuk Mengurangi Keterlambatan dan Biaya Penalti. *Jurnal Riset Teknik Industri*, 117–128. <https://doi.org/10.29313/jrti.v2i2.1250>
- Mahsan, F. M., & Hidayat, N. P. A. (2022). Sistem Pengendalian Bahan Baku dengan Metode Q dan P di CV. X. *Jurnal Riset Teknik Industri*, 179–186. <https://doi.org/10.29313/jrti.v2i2.1414>
- Mantika, F. G., Prasetyaningsih, Y., Kusumastuti, Y., & Hidayat, M. (2024). Isolasi Selulosa dari Tongkol Jagung dengan Menggunakan Metode Konvensional dan Deep Eutectic Solvent (DES). *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri Berkelanjutan IV (SENASTITAN IV)*, (Senastitan Iv), 1–7.
- Ramadhani, S. F., Utama, M. J., Kimia, J. T., Malang, P. N., Soekarno, J., & No, H. (2021). *Padi Sebagai Bahan Bakar Alternatif*. 7(9), 210–217.
- Rosdiana, H., Ashari, Y., & Fauzi Isnarno, N. (n.d.). Pengaruh Intensitas Curah Hujan terhadap Kegiatan Pemompaan pada Sump Berdasarkan Water Balance di PT XYZ. *Jurnal Sangkuriang Bandung*. Retrieved <https://journal.sbpublisher.com/index.php/minetech>
- Singh Karam, D., Nagabovanalli, P., Sundara Rajoo, K., Fauziah Ishak, C., Abdu, A., Rosli, Z., Melissa Muharam, F., & Zulperi, D. (2022). An overview on the preparation of rice husk biochar, factors affecting its properties, and its agriculture application. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 21(3), 149–159. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2021.07.005>
- Solihudin, S., Rustaman, R., & Haryono, H. (2020). Pembentukan Karbon Konduktif dari Sekam Padi dengan Metode Hidrotermal Menggunakan Larutan Kalium Karbonat. *Chimica et Natura Acta*, 8(1), 42–49. <https://doi.org/10.24198/cna.v8.n1.25076>
- Taufik, I. (2012). Identifikasi Nilai Kalor Biochar Dari Tongkol Jagung Dan Sekam Padi Pada Proses Pirolisis. *Jurnal Teknik Kimia*, 7(1), 32–35.
- Tomczyk, A., Sokołowska, Z., & Boguta, P. (2020). Biochar physicochemical properties: pyrolysis temperature and feedstock kind effects. In *Reviews in Environmental Science and Biotechnology* (Vol. 19, Number 1, pp. 191–215). Springer. <https://doi.org/10.1007/s11157-020-09523-3>
- Tripathi, M., Sahu, J. N., & Ganesan, P. (2016). Effect of process parameters on production of biochar from biomass waste through pyrolysis: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 467–481. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2015.10.122>
- Yanti, R. N., Pari, G., Dinata, M., Al Amady, M. R., & Suryanti. (2024). Sifat Arang Empat Jenis Kayu Cepat Tumbuh Di Provinsi Riau Sebagai Bahan Baku Bioenergi (Bio Briket). *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 42(1), 39–48. <https://doi.org/10.55981/jphh.2024.2052>