



Pembuatan *Biochart* dari Ampas Tebu (*Saccharum Officinarum* L) dengan Menggunakan Metode Pirolisis Lambat

Faisal, Iqbal Kamar*, Irma Adenia, Ishak Ibrahim, Lukman Hakim

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Malikussaleh
 Kampus Utama Cot Teungku Nie Reuleut, Muara Batu, Aceh Utara – 24355
 Korespondensi: e-mail: iqbalkamarsyam@unimal.ac.id

Abstrak

Biochart merupakan istilah baru yang digunakan untuk menggambarkan arang (arang yang berserbuk halus) berpori terbuat dari berbagai biomassa. Pada penelitian ini menggunakan limbah ampas tebu. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis waktu pirolisis terbaik yang dapat menghasilkan biochart, menilai pengaruh variasi ukuran partikel terhadap karakteristik biochart yang dihasilkan dari ampas tebu, dan mengidentifikasi interaksi antara waktu pirolisis dan variasi ukuran partikel dalam mempengaruhi kualitas biochart. Parameter yang dianalisis meliputi kadar air, kadar abu, kadar zat menguap, dan kadar karbon terikat. Proses pirolisis dilakukan dengan memasukkan ampas tebu kedalam alat pirolisis dengan suhu 300°C dengan variasi waktu 1jam, 2jam, 3jm dan 4jam. Lalu arang tersebut di haluskan, kemudian diayak menggunakan variasi mesh 40, 60, 80 dan 100. Uji kualitas biochart mengacu pada standart SNI 06-3730-1995 dengan fokus pada kadar air, kadar abu, kadar zat menguap, dan kadar karbon terikat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu pirolisis 300°C dan ukuran partikel 100 mesh menghasilkan biochart dengan kualitas terbaik pada waktu 4 jam, yakni kadar air terendah yaitu 1,082%, kadar abu tertinggi yaitu 10,572%, zat volatil terendah yaitu 2,730%, dan karbon terikat tertinggi yaitu 85,616%.

Kata Kunci: *Biochart, Ampas Tebu, Waktu Pirolisis, Ukuran patikel, Analisis Proksimat.*

DOI: <https://doi.org/10.29103/cejs.v5i4.23616>

1. Pendahuluan

Limbah pertanian merupakan salah satu sumber biomassa yang sangat melimpah di Indonesia, namun belum dimanfaatkan secara maksimal. Salah satu limbah pertanian yang potensial adalah ampas tebu, yaitu residu hasil pemerasan batang tebu dalam industri gula. Ampas tebu umumnya hanya dimanfaatkan

sebagai bahan bakar boiler atau bahkan dibuang begitu saja, padahal kandungan selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang cukup tinggi menjadikannya cocok sebagai bahan baku untuk bioenergi dan produk turunan lainnya, salah satunya adalah *biochart*.

Biochart merupakan material karbon padat yang dihasilkan dari proses pirolisis biomassa pada suhu tinggi dalam kondisi terbatas oksigen. Penggunaan *biochart* sebagai bahan amandemen tanah telah terbukti mampu meningkatkan kualitas tanah, memperbaiki kapasitas tukar kation, mempertahankan kelembaban, serta meningkatkan efisiensi pemupukan (Sari et al., 2021). Selain itu, *biochart* juga berperan dalam mitigasi perubahan iklim melalui kemampuan menyimpan karbon dalam jangka panjang (Wahyuni et al., 2022). Dengan demikian, produksi *biochart* dari limbah pertanian seperti ampas tebu tidak hanya menawarkan solusi pengelolaan limbah, tetapi juga mendukung pertanian berkelanjutan.

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa karakteristik *biochart* sangat dipengaruhi oleh jenis bahan baku dan parameter proses pirolisis seperti suhu dan waktu pemanasan. *Biochart* dari ampas tebu cenderung memiliki struktur pori yang baik, luas permukaan tinggi, serta kandungan karbon tetap yang besar, menjadikannya ideal untuk aplikasi sebagai adsorben atau media tanam (Hadi et al., 2022). Oleh karena itu, penting untuk meneliti lebih lanjut proses pembuatan *biochart* dari ampas tebu, agar diperoleh produk yang berkualitas dan sesuai dengan standar teknis tertentu.

Inovasi dalam pengelolaan limbah melalui konversi biomassa menjadi *biochart* juga sejalan dengan konsep ekonomi sirkular dan pembangunan berkelanjutan. *Biochart* tidak hanya memberikan manfaat langsung bagi lahan pertanian, tetapi juga dapat dimanfaatkan dalam bidang pengelolaan limbah cair dan pencemaran lingkungan. Studi terbaru menunjukkan bahwa *biochart* dari ampas tebu mampu menyerap logam berat seperti Pb dan Cd dari air limbah industri (Ramadhani & Aziz, 2021). Hal ini menunjukkan bahwa potensi pemanfaatan *biochart* dari ampas tebu sangat luas dan strategis.

Berdasarkan uraian di atas, pada penelitian ini akan dilakukan penelitian mengenai “Pembuatan *Biochart* Dari Ampas Tebu (*Saccharum Officinarum* L)

Dengan Menggunakan Metode Pirolisis Lambat”. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis waktu pirolisis terbaik yang dapat menghasilkan *biochart* dari ampas tebu, menilai pengaruh variasi ukuran partikel terhadap karakteristik *biochart* yang dihasilkan dari ampas tebu, termasuk kadar air, kadar abu, kadar zat menguap, dan kadar karbon, dan mengidentifikasi interaksi antara waktu pirolisis dan variasi ukuran partikel dalam mempengaruhi kualitas *biochart* dari ampas tebu.

2. Bahan dan Metode

2.1 Bahan dan peralatan

Pada penelitian ini dibutuhkan bahan berupa ampas tebu. Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi alat pirolisis, oven pengering, ayakan (40, 60, 80, 100) *mesh*, *shaker*, *muffle furnace*, cawan porselin, *crucible*, desikator, lumpang dan alu, spatula, serta neraca digital.

2.2 Metode Penelitian

Pada penelitian ini, ampas tebu atau lazim disebut *bagasse* yang diperoleh dari limbah pedagang di wilayah Aceh Utara digunakan sebagai bahan baku pembuatan *biochart*. Ampas tebu terlebih dahulu dicuci sebanyak tiga kali menggunakan air bersih untuk menghilangkan kotoran dan senyawa pengotor yang menempel di permukaan bahan.

Ampas tebu yang telah dibersihkan kemudian dikeringkan di bawah sinar matahari selama empat hari hingga kadar airnya berkurang secara signifikan. Proses pirolisis dilakukan menggunakan alat drum kiln tertutup pada suhu 300°C, dengan variasi waktu 1jam, 2jam, 3jam, dan 4jam. Arang yang dihasilkan kemudian dihancurkan menggunakan lumpang dan alu, dan diayak menggunakan ayakan dengan variasi ukuran (40, 60, 80, 100) *mesh* untuk memperoleh ukuran partikel yang seragam.

Tahapan berikutnya adalah pengujian *biochart* yaitu Pengujian kadar air, abu, zat volatil, dan karbon terikat dilakukan melalui analisis proksimat untuk menganalisis waktu pirolisis, menilai pengaruh variasi ukuran partikel terhadap

karakteristik *biochart* dan mengidentifikasi interaksi antara waktu prolisis dan variasi ukuran partikel dalam mempengaruhi kualitas *biochart* dengan mengikuti prosedur SNI 06-3730-1995.

3. Hasil Penelitian

Hasil *Biochart* dari Ampas Tebu dapat dilihat pada Gambar 3.1



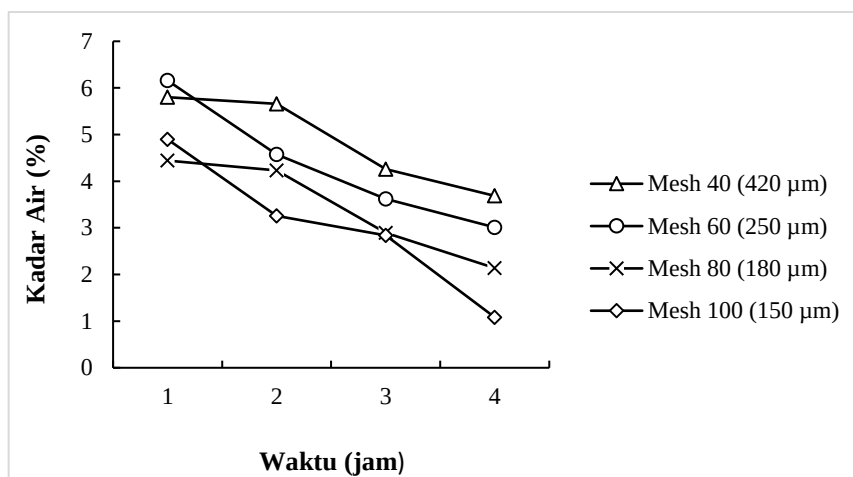
Gambar 3.1 *Biochart* dari Ampas Tebu

Perbedaan tekstur antar sampel pada gambar diatas menunjukkan hasil variasi tersebut. *Biochart* pada ukuran partikel 100 *mesh* tampak lebih halus dan pekat, yang menandakan proses pirolisis lebih optimal. Hal ini sejalan dengan penelitian oleh (Nurhaliza, 2022) yang menyatakan bahwa peningkatan suhu dan waktu pirolisis, serta pengecilan ukuran partikel, dapat meningkatkan porositas dan daya serap *biochart*. Faktor-faktor ini penting dalam aplikasi *biochart*, baik sebagai media tanam, penyerap logam berat, maupun dalam pengolahan limbah cair. Oleh karena itu, pemilihan parameter pirolisis yang tepat sangat menentukan kualitas *biochart* yang dihasilkan (Fadillah, 2023).

3.1 Kadar Air

Uji nilai kadar air yaitu dengan menimbang sampel *biochart* seberat 1 gram yang telah di *shaker* menggunakan ayakan 40 *mesh*, 60 *mesh*, 80 *mesh*, 100 *mesh* dan meletakkannya ke dalam cawan porselin. Sampel dikeringkan dalam oven bersuhu 105°C selama 1 jam. Setelah pengeringan, sampel didinginkan di dalam desikator untuk mencegah penyerapan ulang uap air dari udara, lalu ditimbang kembali. Nilai kadar air diperoleh dari selisih antara massa awal dan massa akhir,

dibagi dengan massa awal, lalu dikalikan 100%. Hasil pengamatan terhadap kadar air pada *biochart* dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Hubungan Variasi Waktu Pirolisis terhadap Kadar Air dengan Berbagai Variasi Ukuran Partikel.

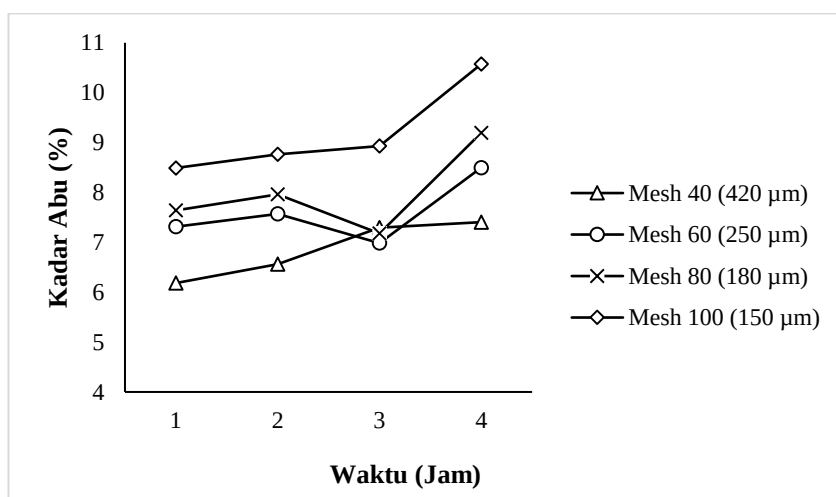
Berdasarkan grafik pada Gambar 3.1, Ukuran partikel dalam penelitian ini diklasifikasikan berdasarkan nomor *mesh*, yaitu *mesh* 40 (420 μm), *mesh* 60 (250 μm), *mesh* 80 (180 μm), dan *mesh* 100 (150 μm), diketahui bahwa semakin lama waktu pirolisis, kadar air dalam sampel semakin menurun. Penurunan ini terjadi karena proses pemanasan yang berlangsung lebih lama memberikan energi yang cukup untuk menguapkan air, baik yang bersifat bebas maupun terikat. Penurunan paling signifikan terlihat pada durasi pirolisis selama 4 jam, dengan penurunan yang cukup konsisten pada semua ukuran partikel. Hasil ini menunjukkan bahwa waktu pirolisis merupakan salah satu faktor penting dalam efisiensi pengurangan kadar air suatu bahan, sehingga pengaturan waktu yang optimal sangat diperlukan dalam proses termal seperti pirolisis. Temuan ini juga diperkuat oleh penelitian sebelumnya yang menyebutkan bahwa peningkatan waktu pirolisis dapat meningkatkan penguapan kandungan air pada biomassa secara signifikan (Putri & Nugroho, 2021).

Pada ukuran partikel 40 *mesh*, kadar air awal sebesar 5,801% menurun menjadi 3,686% karena hambatan panas menuju bagian dalam partikel yang lebih besar. Akibatnya, air yang berada di dalam partikel lebih sulit menguap, dan pelepasan kadar air menjadi kurang efisien. Menurut (Lestari et al., 2022), partikel

kasar cenderung memiliki hambatan transfer panas lebih tinggi, sehingga proses pengeringan internal menjadi lambat. Ukuran partikel 60 *mesh* menunjukkan penurunan dari 6,158% menjadi 3,010%, dengan transfer panas yang lebih baik namun belum sepenuhnya merata. Ukuran partikel 80 *mesh* memperlihatkan kadar air turun dari 4,442% menjadi 2,138%, menunjukkan perpindahan panas yang cukup efektif. Sementara itu, ukuran partikel 100 *mesh* yang paling halus mengalami penurunan kadar air tertinggi, dari 4,897% menjadi 1,082%, karena luas permukaan yang besar memungkinkan panas menyebar secara cepat dan merata. Hasil ini diperkuat oleh penelitian (Ramadhan et al., 2023), yang menyebutkan bahwa ukuran partikel sangat halus mempercepat perpindahan panas dan efisiensi proses dehidrasi selama pirolisis.

3.2 Kadar Abu

Uji nilai kadar abu dilakukan dengan menimbang 1 gram sampel *biochart* kemudian dimasukkan kedalam cawan *krusibe* bersih. Sampel dibakar dalam *furnace* pada suhu 750°C selama 2 jam. Setelah pembakaran selesai, cawan *krusibe* dikeluarkan dari *furnace*, didinginkan dalam desikator, lalu ditimbang kembali. Persentase kadar abu dihitung berdasarkan rasio massa abu terhadap massa awal sampel.



Gambar 3.2 Hubungan Variasi Waktu Pirolisis terhadap Kadar Abu dengan Berbagai Variasi Ukuran Partikel.

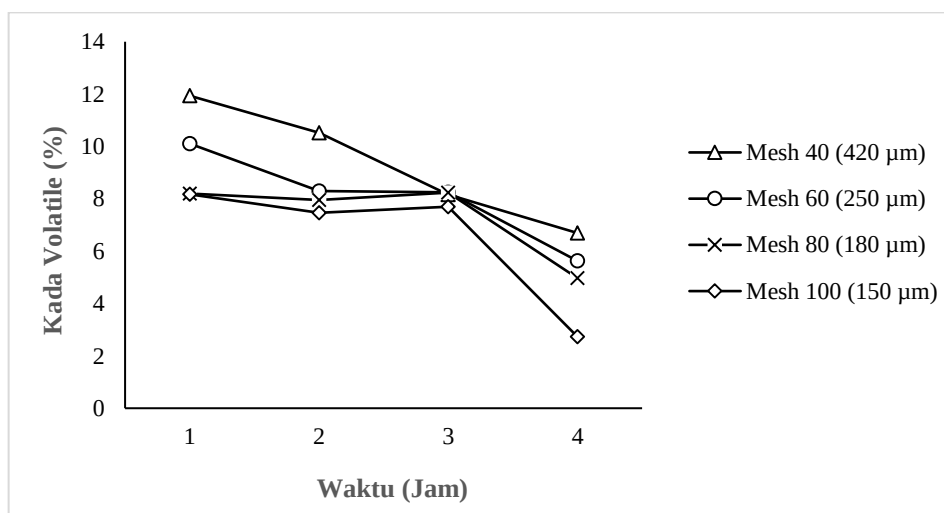
Berdasarkan Gambar 3.2, ukuran partikel dalam penelitian ini diklasifikasikan berdasarkan nomor *mesh*, yaitu *mesh* 40 (420 μm), *mesh* 60 (250 μm), *mesh* 80 (180 μm), dan *mesh* 100 (150 μm) kadar abu cenderung mengalami kenaikan seiring bertambahnya waktu pirolisis. Peningkatan ini terjadi karena massa total bahan menyusut akibat penguapan air dan degradasi senyawa volatil, sehingga proporsi abu terhadap massa total menjadi lebih tinggi. Hal ini sejalan dengan temuan dari penelitian sebelumnya oleh (Putra et al., 2021), yang menyatakan bahwa semakin lama proses pirolisis berlangsung, maka komponen volatil akan semakin banyak terurai, sehingga residu anorganik seperti abu menjadi lebih dominan terhadap massa akhir *biochart*.

Ukuran partikel juga memengaruhi kadar abu yang terbentuk. Pada ukuran partikel 40 *mesh*, kadar abu meningkat dari 6,183% menjadi 7,404% karena luas permukaan kecil yang menyebabkan laju pirolisis lebih lambat. Menurut (Syahputra et al., 2021), partikel kasar cenderung mempertahankan struktur internal lebih lama, sehingga kadar abu relatif lebih rendah dibanding partikel halus. Ukuran partikel 60 *mesh* menunjukkan kadar abu meningkat dari 7,312% menjadi 8,493%, mencerminkan pirolisis yang berlangsung lebih merata karena keseimbangan antara luas permukaan dan volume. Pada ukuran 80 *mesh*, kadar abu naik dari 7,639% menjadi 9,194%, sementara ukuran partikel 100 *mesh* yang paling halus menunjukkan peningkatan tertinggi dari 8,490% menjadi 10,572%. Partikel halus memungkinkan penyerapan panas yang lebih cepat dan merata, namun juga menyebabkan penguapan senyawa volatil yang tinggi sehingga residu anorganik menjadi dominan. Hal ini sesuai dengan pernyataan (Laksana et al., 2021) bahwa luas permukaan yang besar pada partikel halus meningkatkan efisiensi pirolisis, tetapi juga memperbesar pembentukan abu karena rasio residu terhadap bahan awal meningkat.

3.3 Zat Volatil

Pengujian zat Menguap dilakukan dengan menimbang 1 gram sampel *biochart* ke dalam cawan *krusibe* tertutup, kemudian dipanaskan dalam *furnace* pada suhu 950°C selama 7 menit tanpa suplai udara. Setelah pemanasan, cawan

krusibe didinginkan, lalu ditimbang kembali. Selisih massa sebelum dan sesudah pemanasan digunakan untuk menghitung kandungan zat volatil. Nilai persen zat volatil dihitung berdasarkan massa senyawa yang menguap terhadap massa awal. Hasil pengujian terhadap zat volatil ditampilkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Hubungan Variasi Waktu Pirolisis terhadap Kadar Zat Menguap dengan Berbagai Variasi Ukuran Partikel

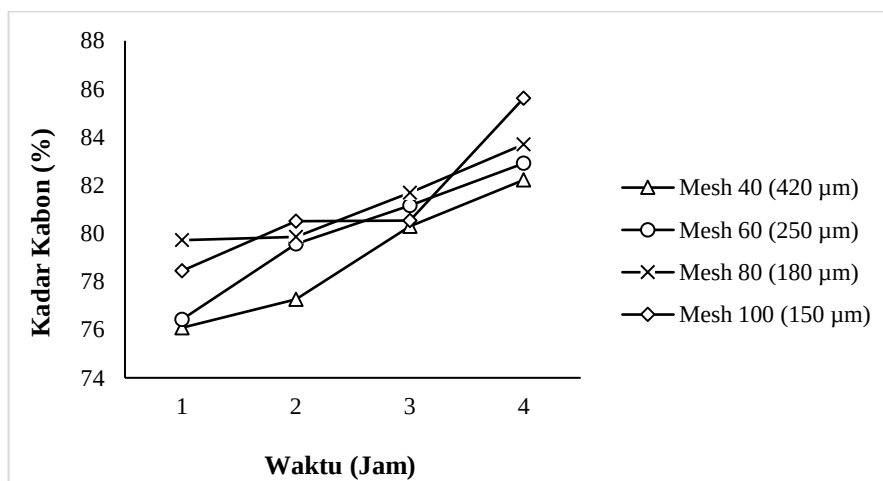
Berdasarkan Gambar 3.3, ukuran partikel dalam penelitian ini diklasifikasikan berdasarkan nomor *mesh*, yaitu *mesh* 40 (420 µm), *mesh* 60 (250 µm), *mesh* 80 (180 µm), dan *mesh* 100 (150 µm), terlihat bahwa waktu pirolisis merupakan faktor dominan dalam menurunkan kadar zat menguap (volatil) dalam bahan. Semakin lama waktu pirolisis, semakin banyak senyawa volatil yang terdekomposisi akibat pemanasan, sehingga kadar zat menguap yang tersisa menjadi lebih rendah. Temuan ini sesuai dengan hasil penelitian (Putri & Nugroho, 2021) yang menyatakan bahwa suhu dan waktu pirolisis yang tinggi mempercepat dekomposisi komponen volatil dalam biomassa.

Ukuran partikel juga memengaruhi pelepasan zat volatil, meskipun pengaruhnya tidak sebesar waktu. Pada ukuran partikel 40 *mesh*, kadar volatil pada jam pertama sebesar 11,937%, kemudian menurun mencapai 6,693% pada jam keempat. Penurunan ini terjadi cukup bertahap karena partikel yang lebih besar memiliki luas permukaan yang lebih kecil, sehingga laju transfer panas lebih lambat. Hal ini menyebabkan dekomposisi senyawa volatil berlangsung lebih

lambat pula. Temuan ini sejalan dengan penelitian oleh (Hakim et al., 2019), yang menyatakan bahwa partikel berukuran besar menghambat penetrasi panas ke bagian dalam bahan, sehingga memperlambat laju pirolisis dan pelepasan senyawa volatile. Sementara pada ukuran partikel 60 *mesh* turun dari 10,107% menjadi 5,626%, dengan penurunan yang lebih efisien karena penyerapan panas lebih merata (Wibowo et al., 2021). Ukuran partikel 80 *mesh* menunjukkan penurunan dari 8,201% menjadi 4,970%, dan ukuran partikel 100 *mesh*, yang paling halus, mengalami penurunan signifikan dari 8,171% menjadi 2,730%. Penurunan tajam ini menunjukkan bahwa luas permukaan yang besar pada partikel halus mempercepat transfer panas dan reaksi pirolitik, sehingga senyawa volatil lebih cepat terurai (Hakim et al., 2019).

3.4 Karbon Karbon Terikat

Kandungan karbon terikat (*fixed carbon*) tidak ditentukan secara langsung, tetapi dihitung dari hasil uji proksimat berdasarkan pengurangan terhadap kadar air, abu, dan zat volatil. Nilai ini merepresentasikan fraksi karbon padat yang tidak menguap selama pirolisis dan berperan penting dalam pembakaran berkelanjutan. *Fixed carbon* menjadi komponen utama dalam *biochart* yang berkontribusi terhadap kestabilan bahan dalam jangka panjang.



Gambar 3.4. Hubungan Variasi Waktu Pirolisis terhadap Kadar Karbon Terikat dengan Berbagai Variasi Ukuran Partikel.

Berdasarkan Gambar 3.4, ukuran partikel dalam penelitian ini diklasifikasikan berdasarkan nomor *mesh*, yaitu *mesh* 40 (420 µm), *mesh* 60 (250

μm), *mesh* 80 (180 μm), dan *mesh* 100 (150 μm), dapat dilihat bahwa kadar karbon terikat cenderung meningkat seiring bertambahnya waktu pirolisis. Hal ini karena waktu yang lebih lama memungkinkan dekomposisi senyawa volatil berlangsung lebih sempurna, sehingga fraksi karbon padat dalam *biochart* menjadi lebih tinggi (Asnawi et al., 2020). Proses pemanasan yang lebih lama juga mendorong pembentukan struktur karbon aromatik yang lebih stabil (Setiawan et al., 2021).

Ukuran partikel turut memengaruhi kadar karbon terikat. Pada ukuran partikel 40 *mesh*, karbon terikat meningkat dari 76,079% menjadi 82,217%, namun peningkatannya bertahap karena partikel besar memperlambat transfer panas. Menurut (Rachman et al., 2022), ukuran partikel yang lebih besar cenderung memperlambat transfer panas selama proses pirolisis, sehingga peningkatan kadar karbon terikat terjadi secara bertahap. Ukuran partikel 60 *mesh* menunjukkan peningkatan dari 76,423% menjadi 82,908%, menunjukkan efisiensi yang lebih baik karena partikel sedang memiliki keseimbangan luas permukaan dan volume. Pada ukuran partikel 80 *mesh*, karbon terikat naik dari 79,718% menjadi 83,698%, menunjukkan perpindahan panas yang lebih merata dan reaksi yang cepat. Ukuran partikel 100 *mesh* kadar karbon terikat dimulai dari sekitar 78,442% di jam pertama, naik menjadi 85,616% pada jam keempat. Ukuran partikel yang sangat kecil menyebabkan proses pirolisis lebih cepat dan lebih merata, tetapi karbon yang terbentuk cenderung lebih sedikit dibandingkan partikel yang lebih besar karena volatil lebih mudah terlepas di awal proses. Menurut (Asnawi et al., 2020), semakin kecil ukuran partikel, semakin cepat senyawa volatil menguap, namun karbon terikat yang tersisa

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Waktu pirolisis terbaik yang dapat menghasilkan *biochart* berkualitas tinggi adalah 4 jam, di mana proses pirolisis berlangsung lebih sempurna.

2. Ukuran partikel terbaik adalah partikel dengan ukuran 100, karena menghasilkan *biochart* dengan kadar air terendah (1,082%), kadar abu tertinggi (10,572%), kadar zat menguap terendah (2,730%), dan kadar karbon terikat tertinggi (85,616%), sesuai standar SNI 06-3730-1995.
3. Interaksi antara waktu pirolisis dan ukuran partikel memiliki pengaruh besar terhadap kualitas *biochart*, terutama dalam pembentukan karbon tetap.

4.2 Saran

Untuk menghasilkan *biochart* berkualitas tinggi, disarankan menggunakan ukuran partikel 100 *mesh* dengan waktu pirolisis selama 4 jam pada suhu 300°C. Ukuran partikel yang lebih halus, seperti *mesh* 80 hingga 100, terbukti lebih efektif dalam mempercepat proses pirolisis karena luas permukaannya yang lebih besar, sehingga mampu menurunkan kadar air dan zat volatil secara lebih optimal. Dalam proses ini, penting untuk menjaga suhu pirolisis agar tetap stabil, karena fluktuasi suhu dapat menyebabkan terjadinya pembakaran karbon terikat menjadi abu, yang pada akhirnya menurunkan kualitas *biochart*. Oleh karena itu, pengendalian suhu dan pemilihan ukuran partikel yang tepat menjadi kunci utama dalam optimasi proses pirolisis. Sebagai tindak lanjut, penelitian selanjutnya dapat difokuskan pada variasi suhu pirolisis atau penggunaan jenis biomassa lain, guna membandingkan pengaruhnya terhadap karakteristik dan kualitas *biochart* yang dihasilkan.

5. Daftar Pustaka

1. Asnawi, R. (2020). *Karakterisasi Biochar dari Limbah Pertanian Melalui Proses Pirolisis Bertahap*. Jurnal Energi Biomassa, 4(1), 21–28.
2. Asnawi, R., Suryani, L., & Maulana, R. (2020). Pengaruh Ukuran Partikel terhadap Karakteristik Biochar dari Proses Pirolisis Limbah Organik. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Energi*, 7(2), 65–72.
3. Fadillah, A. (2023). Analisis Proksimat Biochar dengan Variasi Parameter Pirolisis. *Jurnal Rekayasa Bahan Dan Energi*.

4. Hadi, S., Yuliana, D., & Setiawan, B. (2022). Pengaruh suhu pirolisis terhadap karakteristik biochar dari limbah biomassa. *Jurnal Energi Dan Lingkungan*, 19(3), 89–98.
5. Hakim, R., Yuliana, R., & Nugroho, D. (2019). Pengaruh Ukuran Partikel terhadap Kandungan Volatil pada Proses Pirolisis Limbah Biomassa. *Jurnal Rekayasa Energi Dan Lingkungan*, 7(2), 91–98.
6. Laksana, B., Yuliana, R., & Taufik, M. (2021). Analisis Kadar Abu dari Pirolisis Bahan Organik dengan Variasi Ukuran Partikel. *Jurnal Teknik Energi*, 10(3), 121–128. <https://doi.org/10.14710/jte.10.3.121-128>
7. Lestari, D., Nugroho, Y. A., & Prasetya, B. (2022). Pengaruh Ukuran Partikel terhadap Laju Pemanasan dan Karakteristik Produk Pirolisis Biomassa. *Jurnal Teknologi Energi*, 13(2), 89–96. <https://doi.org/10.25077/jte.13.2.89-96.2022>
8. Nurhaliza, D. (2022). Pengaruh Ukuran Mesh dan Suhu terhadap Sifat Fisik Biochar Ampas Tebu. *Jurnal Teknologi Lingkungan*.
9. Putra, A. R., Sari, D. N., & Widodo, T. W. (2021). Pengaruh Suhu dan Waktu Pirolisis terhadap Kualitas Biochar dari Limbah Pertanian. *Jurnal Rekayasa Proses*, 15(2), 95–102. <https://doi.org/10.14710/jrekpros.15.2.95-102>
10. Putri, A. R., & Nugroho, S. P. (2021). Pengaruh Waktu dan Suhu Pirolisis terhadap Karakteristik Biochar dari Limbah Biomassa. *Jurnal Rekayasa Energi Dan Lingkungan*, 17(1), 25–31.
11. Putri, M. A., & Rahmad, D. (2020). Analisis Kinetika Pirolisis terhadap Reduksi Zat Menguap pada Serbuk Kayu. *Jurnal Rekayasa Bahan Terbarukan*, 5(1), 25–31.
12. Rachman, M. A., Putri, N. L., & Hidayat, A. (2022). Efek Variasi Waktu Pirolisis terhadap Karbon Terikat dan Stabilitas Biochar dari Limbah Biomassa. *Jurnal Rekayasa Proses*, 18(1), 33–40. <https://doi.org/10.25077/jrp.18.1.33-40.2022>
13. Ramadhani, R. & Aziz, M. (2021). Aplikasi biochar dari ampas tebu untuk adsorpsi logam berat dalam air limbah. *Jurnal Teknik Lingkungan dan Infrastruktur*, 10(4), 221–228.
14. Ramadhani, R., & Aziz, M. (2021). Aplikasi biochar dari ampas tebu untuk adsorpsi logam berat dalam air limbah. *Jurnal Teknik Lingkungan Dan Infrastruktur*, 10(4), 221–228.
15. Sari, D. N., Pratama, Y. H., & Lestari, S. P. (2021). Karakteristik biochar dari limbah pertanian dan aplikasinya untuk perbaikan sifat tanah. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Lingkungan*, 15(2), 123–131.

16. Setiawan, A., Pramono, Y. B., & Laili, N. (2021). Pengaruh Waktu dan Suhu Pirolisis terhadap Kualitas Biochar dari Sekam Padi. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Lingkungan*, 15(2), 134–140. <https://doi.org/10.14710/jitl.15.2.134-140>
17. Wahyuni, R., Sari, N. P., & Hidayat, A. (2022). Pengaruh Waktu dan Suhu Pirolisis terhadap Karakteristik Biochar dari Limbah Biomassa. *Jurnal Energi Terbarukan Dan Lingkungan*, 9(1), 45–52. <https://doi.org/10.1234/jetl.v9i1.2022>
18. Wibowo, A., & Sari, M. N. (2021). Analisis Kadar Zat Menguap pada Pirolisis dengan Variasi Ukuran Partikel dan Waktu Pemanasan. *Jurnal Teknologi Bahan Terbarukan*, 9(1), 34–40.