

SINTESIS DAN KARAKTERISASI BIOCHAR BERBAHAN SLURRY DARI PROSES ANAEROBIC DIGESTION PADA PEMBUATAN BIOGAS

¹Rahmat Yanuar Adi, ¹Mayra Salsabila Zain, ¹Caecilia Pujiastuti*, ¹Ely Kurniati, ¹Silvana Dwi Nurherdiana

¹Teknik Kimia, Fakultas Teknik & Sains, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Gunung Anyar 60294

*Penulis korespondensi: caecilia.tk@upnjatim.ac.id

Abstrak. Limbah biogas masih jarang dimanfaatkan sebagai produk yang memiliki nilai jual tinggi. Limbah biogas memiliki kandungan senyawa organik seperti selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Sehingga, selulosa yang terdapat pada limbah biogas berpotensi sebagai bahan baku pembuatan biochar. Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan biochar yang sesuai dengan SNI (Standar Nasional Indonesia) dari limbah biogas dengan menggunakan metode pirolisis. Limbah biogas yang digunakan didapatkan dari PT. Energi Agro Nusantara. Pada penelitian ini dilakukan dengan variasi waktu pirolisis (30 menit, 35 menit, 40 menit, 45 menit, 50 menit) dan berat bahan (250 gram, 300 gram, 350 gram, 400 gram, 450 gram). Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi waktu pirolisis dan berat bahan baku berpengaruh terhadap karakteristik biochar yang dihasilkan. Semakin lama waktu pirolisis cenderung menurunkan kadar air dan kadar zat menguap serta meningkatkan kadar karbon biochar. Dari hasil penelitian didapatkan biochar terbaik pada kondisi waktu pirolisis 50 menit dan berat bahan 250 gram dengan kadar air sebesar 1,3%; kadar abu sebesar 2,725%; kadar zat menguap sebesar 39,2%; dan kadar karbon 56,775%. Biochar yang dihasilkan tidak memenuhi SNI dimana menurut SNI 06-3730-1995 kadar karbon minimal 65%, kadar zat menguap maksimal 25%, kadar abu maksimal 15%, dan kadar air maksimal 10%. Biochar pada kondisi terbaik dilakukan uji SEM untuk mengetahui karakteristik morfologi biochar serta uji XRD untuk mengetahui struktur kristal dari biochar. Hasil uji SEM menunjukkan biochar memiliki morfologi yang padat dengan tekstur berserat serta uji XRD menunjukkan pola difraksi puncak yang tajam pada sudut 2θ sekitar $26-27^\circ$ yang menunjukkan dominan fase kristalin berupa CaCO_3 .

Kata kunci: Biochar, Pirolisis, Limbah Biogas

Abstract. Biogas waste is still rarely utilised as a product with high commercial value. Biogas waste contains organic compounds such as cellulose, hemicellulose and lignin. Consequently, the cellulose present in biogas waste has the potential to serve as a raw material for biochar production. This study aims to produce biochar that complies with SNI (Indonesian National Standards) from biogas waste using the pyrolysis method. The biogas waste used was obtained from PT. Energi Agro Nusantara. In this study, variations in pyrolysis time (30 minutes, 35 minutes, 40 minutes, 45 minutes, 50 minutes) and feedstock weight (250 grams, 300 grams, 350 grams, 400 grams, 450 grams) were tested. The results indicate that variations in pyrolysis time and feedstock weight influence the characteristics of the resulting biochar. Longer pyrolysis times tend to reduce the moisture content and volatile matter content whilst increasing the carbon content of the biochar. The study found the best biochar under conditions of a 50-minute pyrolysis time and a feedstock weight of 250 grams, with a moisture content of 1.3%; ash content of 2.725%; volatile matter content of 39.2%; and carbon content of 56.775%. The biochar produced did not meet SNI 06-3730-1995 standards, which stipulate a minimum carbon content of 65%, a maximum volatile matter content of 25%, a maximum ash content of 15%, and a maximum moisture content of 10%. SEM analysis was performed on the best-quality biochar to determine its morphological characteristics, and XRD analysis was conducted to determine its crystal structure. The SEM results showed that the biochar had a dense morphology with a fibrous texture, while the XRD results revealed sharp diffraction peaks at an angle of 2θ of approximately $26-27^\circ$, indicating a predominantly crystalline phase consisting of CaCO_3 .

Keywords: Biochar, pyrolysis, Biogas waste

1. Pendahuluan

Peningkatan kebutuhan energi global yang masih didominasi oleh bahan bakar fosil mendorong pengembangan sumber energi alternatif yang lebih ramah lingkungan, salah satunya biogas. Biogas dihasilkan melalui proses fermentasi anaerobik bahan organik seperti limbah pertanian, limbah peternakan, dan limbah industri agro (Hidayatulloh 2020). Selain menghasilkan energi terbarukan, proses produksi biogas juga menghasilkan limbah padat dan cair yang dikenal sebagai *slurry* atau *bioslurry*. Apabila tidak dikelola dengan baik, limbah biogas dapat menimbulkan permasalahan lingkungan seperti pencemaran tanah dan air serta menimbulkan bau tidak sedap (Fitri dan Hamdi 2024). Padahal limbah biogas masih mengandung komponen organik seperti selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan baku biochar (Kholis, 2018). Kandungan selulosa, hemiselulosa, dan lignin sendiri berasal dari biomassa yang menjadi bahan baku utama biogas. Biochar merupakan material kaya karbon yang dihasilkan dari proses pemanasan biomassa pada kondisi terbatas oksigen atau tanpa oksigen yang dikenal sebagai proses pirolisis (Isnainiyah dkk, 2023). Biochar memiliki berbagai manfaat seperti meningkatkan kesuburan tanah, memperbaiki struktur tanah, serta berfungsi sebagai media penyerap polutan (Siswati dkk, 2022).

Bahan baku biogas di PT. Energi Agro Nusantara berasal dari limbah organik industri gula yang dihasilkan oleh Pabrik Gula Gempolkrep, terutama berupa molase, ampas tebu (*bagasse*), dan *spent wash*. Molase merupakan produk samping dari proses kristalisasi gula yang berbentuk cairan kental berwarna coklat kehitaman dan masih mengandung gula residu tinggi sehingga berpotensi sebagai substrat bagi mikroorganisme dalam proses fermentasi anaerob (Hidayatulloh 2020). Ampas tebu merupakan sisa serat tebu setelah proses ekstraksi nira yang memiliki kandungan lignoselulosa dan karbon cukup tinggi sehingga dapat dimanfaatkan sebagai sumber bahan organik dalam produksi biogas. Selain itu, *spent wash* yang merupakan limbah cair dari proses distilasi bioetanol juga digunakan karena memiliki kandungan bahan organik terlarut yang tinggi dan mudah terdegradasi oleh bakteri anaerob. Kombinasi ketiga bahan tersebut diproses melalui metode *anaerobic digestion* menggunakan reaktor tipe Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR) untuk menghasilkan biogas serta produk samping berupa *slurry* yang masih mengandung bahan organik dan nutrisi yang berpotensi dimanfaatkan lebih lanjut (Zhaky dan Supriadi 2024).

Limbah biogas yang dihasilkan dari proses produksi biogas masih memiliki kandungan senyawa kimia seperti selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan biochar dengan proses pirolisis. Pirolisis adalah proses termokimia di mana material organik, seperti sampah biomassa atau sampah plastik, diuraikan pada suhu tinggi tanpa kehadiran oksigen (Mierzwa dkk, 2019). Proses ini memungkinkan konversi limbah menjadi sumber energi alternatif yang dapat menurunkan ketergantungan terhadap bahan bakar fosil, sekaligus meminimalkan dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh pembuangan limbah (Gonnella dkk, 2022). Pengembangan aplikasi produk hasil pirolisis secara optimal berpotensi menghasilkan solusi yang lebih terintegrasi dalam pengelolaan limbah, menekan tingkat polusi, serta menyediakan sumber energi yang lebih ramah lingkungan (Baudry dkk, 2018). Pemanfaatan *slurry* hasil produksi biogas sebagai bahan baku biochar telah mulai dikembangkan dalam beberapa tahun terakhir, salah satunya yaitu penelitian yang dilakukan oleh (Liu, dkk 2020) yang menjelaskan pembuatan biochar dengan menggunakan bahan baku *slurry* limbah biogas dari sisa makanan. Penelitian (Hung, dkk

2017) juga melaporkan bahwa slurry limbah biogas dapat dikonversi menjadi biochar dengan karakteristik pori yang berpotensi dimanfaatkan sebagai adsorben. Namun demikian, sebagian besar penelitian masih berfokus pada digestate limbah makanan atau peternakan, sedangkan pemanfaatan slurry biogas berbasis limbah industri gula seperti molase, bagasse, dan spent wash masih relatif terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi waktu pirolisis dan berat bahan terhadap karakteristik biochar yang dihasilkan. Pada penelitian ini diharapkan peningkatan waktu pirolisis akan meningkatkan kadar karbon dan menurunkan kadar air serta zat menguap pada biochar yang dihasilkan. Sehingga, penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan biochar dari limbah biogas melalui proses pirolisis serta menentukan kondisi operasi yang optimal sehingga biochar yang dihasilkan memenuhi SNI yang telah ditetapkan.

Tabel 1. Persyaratan biochar menurut SNI 06-3730-1995

Parameter	Nilai (%)
Kadar air	Maksimal 10%
Kadar abu	Maksimal 15%
Kadar zat menguap	Maksimal 25%
Kadar karbon	Minimal 65%

(Badan Standarisasi Nasional, 1995)

2. Bahan dan Metode

2.1. Bahan dan alat

Bahan baku yang digunakan berupa slurry sisa produksi biogas yang diperoleh dari PT Energi Agro Nusantara. Slurry merupakan residu hasil proses anaerobic digestion pada reaktor Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR) dengan bahan baku utama berupa molase, bagasse (ampas tebu), dan spent wash dari industri gula. Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain adalah muffle furnice, cawan porselen 250 ml, desikator, neraca analitik, dan oven.

2.2. Persiapan bahan baku

Limbah biogas yang berbentuk slurry perlu dilakukan pengeringan sebelum dilakukan proses pirolisis. Limbah biogas dilakukan uji untuk mengetahui Limbah biogas terlebih dahulu dilakukan penimbangan sesuai dengan variabel penelitian yaitu sebanyak 250 gram, 300 gram, 350 gram, 400 gram, dan 450 gram. Setelah dilakukan penimbangan, limbah biogas dilakukan pengeringan dengan menggunakan oven pada suhu 105 °C hingga didapatkan berat yang konstan. Limbah biogas juga perlu dilakukan uji untuk mengetahui kandungan selulosa, hemiselulosa, dan lignin dengan metode chesson. Metode ini dilakukan secara bertahap melalui hidrolisis asam untuk memisahkan fraksi hemiselulosa, selulosa, dan lignin berdasarkan kehilangan berat residu pada setiap tahapan. Sampel limbah biogas kering dianalisis untuk menentukan persentase kandungan lignoselulosa yang terdiri dari hemiselulosa, selulosa, dan lignin.

2.3. Proses pirolisis

Proses pirolisis dilakukan pada kondisi oksigen terbatas dengan menggunakan muffle furnace. Limbah biogas yang sudah dikeringkan dimasukkan ke dalam muffle furnace. Proses pirolisis dilakukan pada suhu 400°C karena pada suhu tersebut, hemiselulosa dan sebagian besar selulosa telah mengalami dekomposisi termal sehingga pembentukan struktur karbon berlangsung lebih efektif, namun suhu yang terlalu tinggi juga dapat menyebabkan degradasi berlebihan yang dapat meningkatkan kadar abu pada biochar.

Proses pirolisis juga dilakukan dengan variabel waktu selama 30 menit, 35 menit, 40 menit, 45 menit, dan 50 menit. Setelah proses pirolisis selesai, sampel biochar dibiarkan hingga dingin di dalam furnace hingga suhu mendekati suhu ruang. Biochar kemudian segera dipindahkan ke dalam desikator untuk meminimalkan penyerapan kelembaban udara. Selama proses pirolisis, muffle furnace dalam kondisi tertutup sehingga suplai udara eksternal sangat terbatas. Hasil proses pirolisis berupa biochar dilakukan analisis proximat meliputi kadar air, kadar abu, kadar zat menguap, dan kadar karbon.

2.4 Analisis proximat

2.4.1 Analisis kadar air

Analisis kadar air dilakukan dengan mengambil sampel biochar sebanyak 1-3 gram. Sampel kemudian diletakkan pada cawan porselin dan dilakukan pemanasan dengan menggunakan oven pada suhu 105 °C selama 1 jam. Setelah dipanaskan, cawan porselin kemudian dilakukan pendinginan dengan menggunakan desikator selama 5 menit. Cawan porselin kemudian ditimbang dan dihitung kadar airnya dengan persamaan:

$$\text{Kadar air (\%)} = \left[\frac{(A - B)}{A} \right] \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan :

A = Berat sampel sebelum dipanaskan (gram)

B = Berat sampel setelah dipanaskan (gram)

2.4.2 Analisis kadar abu

Analisis kadar abu dilakukan dengan mengambil sampel biochar sebanyak 1-3 gram. Sampel kemudian diletakkan pada cawan porselin dan dilakukan pemanasan dengan menggunakan furnace pada suhu 750 °C selama 2 jam. Setelah dipanaskan, cawan porselin kemudian dilakukan pendinginan dengan menggunakan desikator selama 5 menit. Cawan porselin kemudian ditimbang dan dihitung kadar abunya dengan persamaan:

$$\text{Kadar abu (\%)} = \left[\frac{(A - B)}{C} \right] \times 100\% \quad (2)$$

Keterangan:

A = Berat cawan porselin + tutup + abu (gram)

B = Berat cawan porselin + tutup (gram)

C = Berat sampel kering (gram)

2.4.3 Analisis kadar zat menguap (*Volatil matter*)

Analisis kadar zat menguap dilakukan dengan mengambil sampel biochar sebanyak 1-3 gram. Sampel kemudian diletakkan pada cawan porselin dan dilakukan pemanasan dengan menggunakan furnace pada suhu 950 °C selama 7 menit. Setelah dipanaskan, cawan porselin kemudian dilakukan pendinginan dengan menggunakan desikator selama 5 menit. Cawan porselin kemudian ditimbang dan dihitung kadar airnya dengan persamaan:

$$\text{Kehilangan berat (\%)} = \left[\frac{(A - B)}{A} \right] \times 100\% \quad (3)$$

$$\text{Kadar zat menguap (\%)} = \text{Kehilangan berat (\%)} - \text{Kadar air (\%)} \quad (4)$$

Keterangan:

A = Berat sampel sebelum dipanaskan (gram)

B = Berat sampel setelah dipanaskan (gram)

2.4.4 Analisis kadar karbon (Fixed carbon)

Analisis karbon dilakukan dengan menghitung hasil analisis kadar air, kadar abu, dan kadar zat menguap yang telah dilakukan dengan rumus:

$$\text{Kadar karbon (\%)} = 100\% - (\text{Kadar air} + \text{Kadar abu} + \text{kadar zat menguap}) \quad (5)$$

(Badan Standarisasi Nasional, 1995)

2.5 Uji karakterisasi Biochar

Uji karakteristik dilakukan pada biochar dengan kondisi yang terbaik. Biochar dilakukan uji Scanning Electron Microscope (SEM) untuk mengetahui karakteristik morfologi dan struktur permukaan biochar serta uji X-Ray Difrraction (XRD) dilakukan untuk mengetahui struktur kristal dari biochar.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Analisis bahan baku

Bahan baku dalam penelitian ini berupa limbah biogas dianalisis dengan menggunakan metode chesson. Hasil analisis disajikan dalam tabel berikut:

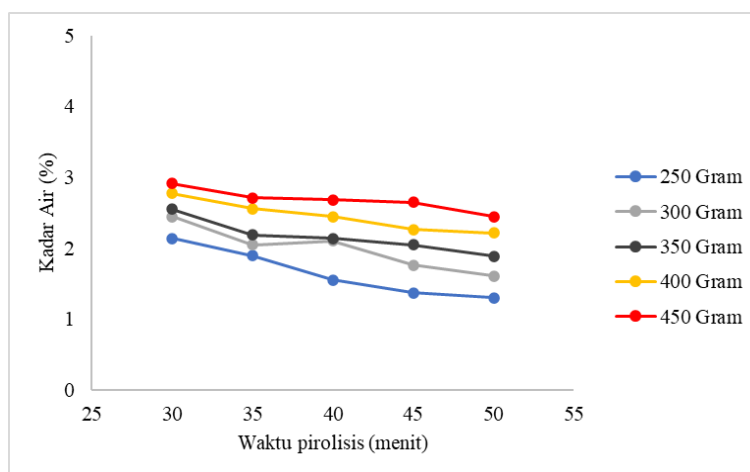
Tabel 2. Kandungan senyawa organik pada limbah biogas

Senyawa	Kandungan (%)
Hemiselulosa	40,3227
Selulosa	21,8777
Lignin	10,3126

Tabel 2. menunjukkan bahwa kandungan senyawa organik yang terdapat pada limbah biogas didominasi senyawa hemiselulosa (40,3227%) dan diikuti senyawa lain berupa selulosa (21,8777%) dan lignin (10,3126%).

3.2. Analisis kadar air

Hasil analisis kadar air pada biochar dapat dilihat pada gambar 1.



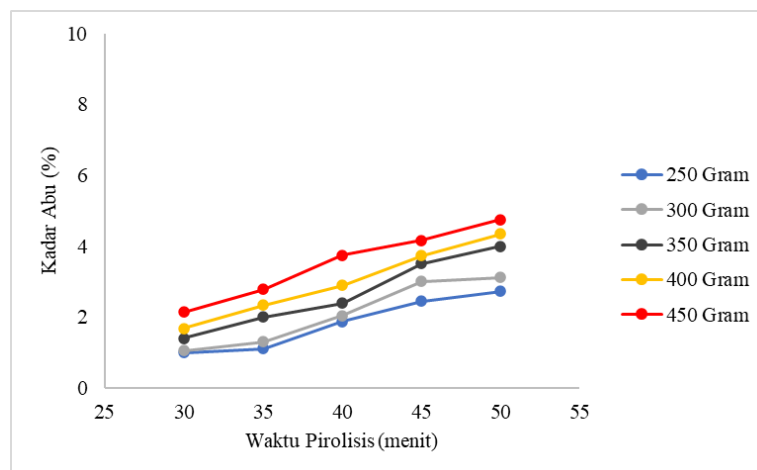
Gambar 1. Hubungan waktu pirolisis dan kadar air pada berbagai berat bahan

Berdasarkan gambar 1. kadar air yang terdapat pada biochar cenderung menurun seiring bertambahnya waktu pirolisis pada seluruh variasi berat bahan baku. Hal ini menunjukkan bahwa semakin lama proses pirolisis berlangsung, semakin besar air yang

teruapkan dari biochar. Menurut (Rhomadoni dkk, 2024) energi panas yang tersedia selama proses pirolisis akan mempengaruhi kadar air pada biochar. Proses pirolisis yang dilakukan pada suhu dan waktu yang relatif tidak akan menguapkan seluruh kandungan air, sehingga biochar yang dihasilkan masih memiliki kadar air yang cukup tinggi. Berdasarkan variasi berat bahan baku, kadar air pada biochar cenderung meningkat seiring bertambahnya berat limbah biogas. Hal ini disebabkan oleh bertambahnya ketebalan material di dalam cawan porselen sehingga distribusi panas selama proses pirolisis menjadi kurang merata. Pada berat bahan yang lebih besar, panas memerlukan waktu lebih lama untuk mencapai seluruh bagian biomassa sehingga proses penguapan air berlangsung kurang optimal. Menurut (Aisyah dkk, 2023) kadar air pada biochar akan mempengaruhi kualitas dari biochar karena berpengaruh terhadap nilai kalor dan efisiensi pembakaran. Berdasarkan hasil penelitian, kadar air pada biochar yang terbaik berada pada angka 1,3%. Hal ini telah memenuhi standart SNI 06-3730-1995 dimana kadar air pada biochar maksimal sebesar 10%.

3.3. Analisis kadar abu

Hasil analisis kadar abu pada biochar dapat dilihat pada gambar 2 di bawah ini:



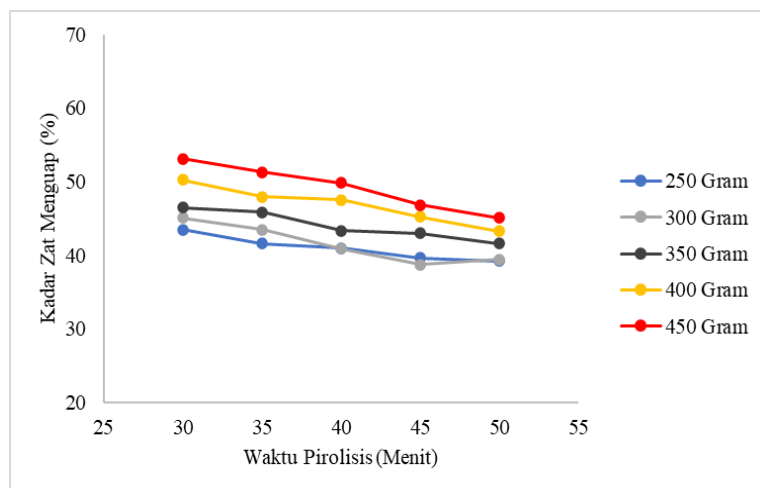
Gambar 2. Hubungan waktu pirolisis dan kadar abu pada berbagai berat bahan

Berdasarkan gambar 2. kadar abu yang terdapat pada biochar cenderung naik seiring bertambahnya waktu pirolisis pada seluruh variasi berat bahan baku. Kenaikan kadar abu ini terjadi karena pemanasan berkelanjutan selama pirolisis menyebabkan terbentuknya residu organik atau oksidasi komponen organik dari proses pembakaran sehingga fraksi abu atau persentase abu pada biochar meningkat. Pada waktu pirolisis yang lebih lama, panas yang diterima biochar semakin merata sehingga residu organik yang dihasilkan akan semakin meningkat. Akibatnya, biochar yang dihasilkan memiliki kadar abu lebih tinggi. Selain itu, berat bahan yang lebih besar menyebabkan jumlah mineral anorganik yang terkandung di dalam biomassa semakin banyak. Ketidakmerataan distribusi panas selama pirolisis juga dapat menyebabkan dekomposisi material organik berlangsung tidak sempurna sehingga residu anorganik lebih dominan tertinggal sebagai abu. Menurut (Iskandar dan Rofiatin 2017) kadar abu dalam biomassa merupakan unsur kimia yang terdiri dari garam karbohidrat, sulfat, fosfat, dan silikat dari kalium, kalsium dan magnesium. Sehingga unsur kimia tersebut jika dipanaskan akan menghasilkan abu pada biochar. Abu yang terdapat pada biochar juga dapat penyumbatan pada pori pori sehingga memperkecil luas permukaan pada biochar. Berdasarkan hasil penelitian, kadar abu yang

terdapat pada biochar paling baik yaitu pada angka 2,725%. Hal ini telah sesuai dengan SNI 06-3730-1995 dimana kadar abu pada biochar maksimal berada pada angka 15%.

3.4. Analisis kadar zat menguap (Volatil matter)

Hasil analisis kadar zat menguap pada biochar dapat dilihat pada gambar 3 di bawah ini:

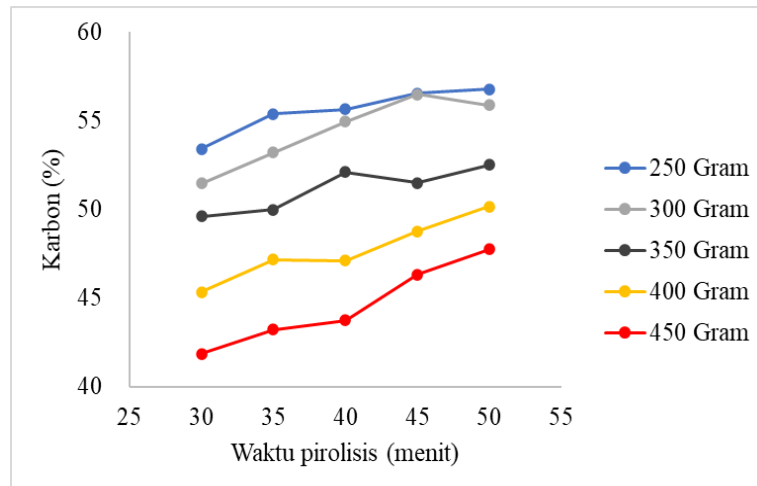


Gambar 3. Hubungan waktu pirolisis dan kadar zat menguap pada berbagai berat bahan

Berdasarkan gambar 3. kadar zat menguap yang terdapat pada biochar cenderung turun seiring bertambahnya waktu pirolisis pada seluruh variasi berat bahan baku. Penurunan kadar zat menguap ini terjadi karena pemanasan berkelanjutan selama pirolisis sehingga menyebabkan terbentuknya asap yang banyak. Hal ini dapat terjadi karena bahan baku pembuatan biochar memiliki komponen utama hemiselulosa yang mencapai 40,3227%. Hemiselulosa terdegradasi lebih cepat jika dibandingkan dengan selulosa dan lignin yaitu pada suhu 250°C - 300°C. Hemiselulosa sendiri jika terdegradasi akan membentuk gas dan tar sehingga biochar yang dihasilkan memiliki kandungan dominan zat menguap. Pada waktu pirolisis yang lebih lama, panas yang diterima biochar semakin merata sehingga asap yang dihasilkan akan semakin meningkat. Akibatnya, kadar zat menguap yang tersisa pada biochar semakin rendah. Berat bahan juga mempengaruhi kadar zat menguap pada biochar. Hal ini disebabkan oleh distribusi panas yang kurang merata pada berat bahan yang lebih besar sehingga proses devolatilisasi tidak berlangsung optimal. Akibatnya, sebagian senyawa volatil seperti hidrokarbon ringan, gas, dan tar hasil degradasi hemiselulosa, selulosa, serta lignin masih tertahan di dalam struktur biochar. Pada berat bahan yang lebih kecil, transfer panas lebih efektif sehingga pelepasan komponen volatil berlangsung lebih sempurna dan menghasilkan kadar zat menguap yang lebih rendah. Menurut (Iskandar dan Rofiatin 2017) kandungan zat menguap pada biochar dipengaruhi oleh kandungan komponen kimia zat ekstraktif pada biomassa seperti unsur hidrokarbon, hidrogen, metana, dan karbondioksida. Berdasarkan hasil penelitian, kadar zat menguap yang terdapat pada biochar paling baik yaitu pada angka 39,2%. Hal ini tidak sesuai dengan SNI 06-3730-1995 dimana kadar zat menguap pada biochar maksimal berada pada angka 25%.

3.5. Analisis kadar karbon

Hasil analisis kadar karbon pada biochar dapat dilihat pada gambar 4 di bawah ini:

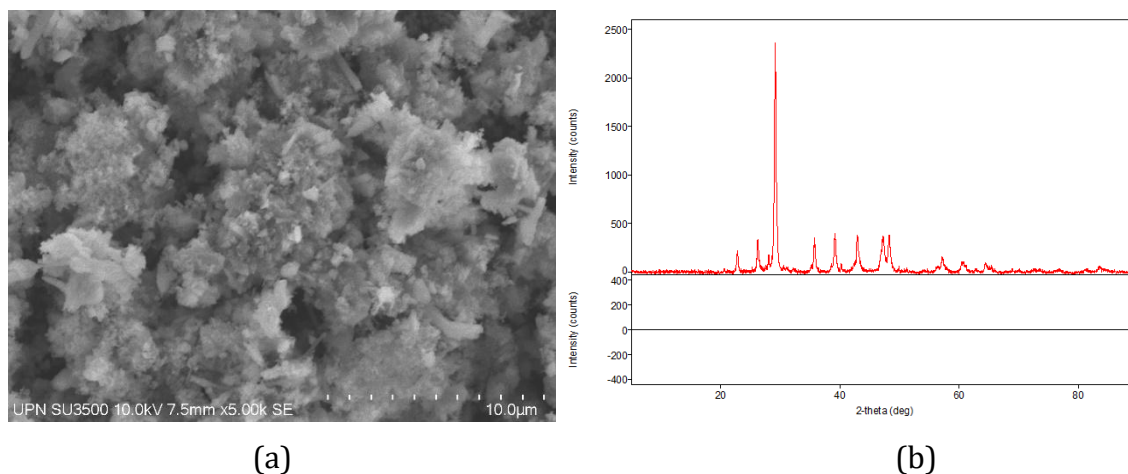


Gambar 4. Hubungan waktu pirolisis dan kadar karbon pada berbagai berat bahan

Berdasarkan gambar 4. kadar karbon yang terdapat pada biochar cenderung naik seiring bertambahnya waktu pirolisis pada seluruh variasi berat bahan baku. Peningkatan kadar karbon ini terjadi karena berkurangnya fraksi non-karbon selama proses pirolisis, seperti kadar air dan zat menguap yang terdekomposisi dan terlepas dalam bentuk gas serta uap. Kadar karbon pada biochar juga dipengaruhi oleh berat bahan. Kadar karbon pada biochar cenderung menurun dengan bertambahnya berat bahan baku. Hal ini disebabkan oleh proses pemanasan yang kurang optimal pada berat limbah yang lebih besar akibat keterbatasan distribusi panas selama pirolisis. Ketidakmerataan pemanasan menyebabkan sebagian komponen volatil belum terdegradasi secara sempurna sehingga kadar zat menguap masih tinggi. Kondisi tersebut mengakibatkan kandungan fixed carbon menjadi lebih rendah. Menurut (Siswati dkk, 2022) proses karbonisasi berlangsung lebih intensif seiring dengan meningkatnya waktu pirolisis sehingga struktur biochar menjadi lebih kaya akan karbon. Berdasarkan hasil penelitian, kadar karbon yang terdapat pada biochar paling baik yaitu pada angka 56,775%. Hal ini tidak sesuai dengan SNI 06-3730-1995 dimana kadar karbon pada biochar minimal berada pada angka 65%. Hal ini dapat terjadi karena biochar didominasi oleh kandungan zat volatil matter yang disebabkan karena kandungan bahan baku yang didominasi oleh hemiselulosa dimana hemiselulosa jika terdegradasi akan menjadi zat menguap berupa asap dan tar.

3.6. Karakteristik Biochar

Biochar terbaik pada kondisi berat awal 250 gram dan waktu pirolisis 50 menit dilakukan uji Scanning Electron Microscope (SEM) dan uji X-Ray Diffraction (XRD). Uji Scanning Electron Microscope (SEM) dilakukan untuk mengetahui karakteristik morfologi permukaan biochar, termasuk struktur pori, tekstur permukaan, serta tingkat aglomerasi partikel. Uji X-ray Diffraction (XRD) dilakukan untuk mengidentifikasi fase kristalin yang terdapat pada biochar hasil pirolisis. Hasil uji SEM dan XRD biochar dapat dilihat pada gambar 5 dibawah ini.



Gambar 5. Hasil Uji karakteristik pada biochar (a) Uji SEM (b) Uji XRD

Berdasarkan gambar 5. Dapat diketahui hasil uji karakteristik ppada biochar. Gambar (a) menunjukkan hasil uji SEM serta gambar (b) menunjukkan hasil uji XRD pada biochar. Hasil uji SEM menunjukkan biochar memiliki tekstur berserat dan aglomerasi partikel yang jelas. Aglomerasi yang terlihat kemungkinan disebabkan oleh pengikatan antarpartikel mineral selama pemanasan, sehingga menghasilkan permukaan yang lebih rapat dan homogen. Hasil uji XRD menunjukkan puncak dengan intensitas tertinggi yang muncul pada sudut 2θ sekitar 26–27° berupa komponen CaCO_3 sesuai dengan JCPDS Card No. 05-0586. Hal tersebut mengindikasikan adanya bidang kristal dominan dan tingkat keteraturan struktur kristal yang tinggi.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan, didapatkan biochar terbaik dengan kandungan karbon paling tinggi pada kondisi waktu pirolisis 50 menit dan berat bahan awal 250 gram dengan kandungan air sebesar 1,3%; kadar abu sebesar 2,725%; kadar zat menguap sebesar 39,2%; dan kadar karbon 56,775%. Hal tersebut belum memenuhi SNI 06-3730-1995 yang telah ditetapkan yaitu kadar air maksimal 10%; kadar abu maksimal 15%; kadar zat menguap maksimal sebesar 25%; dan kadar karbon minimal 65%.

4. Ucapan Terima Kasih

Penyusun mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah berkontribusi dan yang telah memberikan dukungan serta doa terhadap penelitian yang telah berjalan secara lancar. Ucapan terimakasih khususnya disampaikan kepada kampus UPN “Veteran” Jawa Timur yang telah memberikan fasilitas sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan lancar

References

- Aisyah, Octasya Amalia, Azzahra Ghina Fadillah, dan Firdaus. 2023. “Pembuatan Biochar Dari Limbah Buah Ketapang (*Terminalia Catappa*) Dengan Metode Pirolisis.” *Journal Teknik Kimia*. 01(01).1-5
- Badan Standarisasi Nasional. 1995. *SNI 06-3730-1995-Arang aktif*. Badan Standarisasi Nasional

Rahmat Yanuar Adi, Mayra Salsabila Zain, Caecilia Pujiastuti, Ely Kurniati, Silvana Dwi Nurherdiana

caecilia.tk@upnjatim.ac.id : Sintesis Dan Karakterisasi Biochar Berbahan *Slurry* Dari Proses *Anaerobic Digestion* Pada Pembuatan Biogas

- Baudry, Gino, Cathy Macharis, Thomas Vallee, dan Gino Baudry. 2018. "Can Microalgae Biodiesel Contribute To Achieve The Sustainability Objectives In The Transport Sector In France By 2030? A Comparison Between First, Second And Third Generation Biofuels Though A Range-Based Multi-Actor Multi-Criteria Analysis." *Energy*. 02(18). 1–37. doi:10.1016/j.energy.2018.05.038.
- Fitri, Nisa Cantika, dan Hamdi Hamdi. 2024. "Systematic Literature Review (Slr): Sumber Energi Terbarukan : Potensi Kotoran Ternak Dan Limbah Pertanian Untuk Produksi Biogas Berkelanjutan." *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*. 5(1). 57–69. doi:10.14710/jebt.2024.21961.
- Gonnella, Gabriella, Giulia Ischia, Luca Fambri, dan Luca Fiori. 2022. "Thermal Analysis and Kinetic Modeling of Pyrolysis and Oxidation of Hydrochars." *Energies*. 15(950). 1–21.
- Hidayatulloh, Budiono. 2020. "Analisis Kadar Gas Metana Selama 17 Hari Waktu Fermentasi Pada Divisi Biogas Plant." *Jurnal Teknologi Separasi*. 6(9): 56–61.
- Hung, Chao-yi, Wen-tien Tsai, Jie-wei Chen, Yu-quan Lin, dan Yuan-ming Chang. 2017. "Characterization of biochar prepared from biogas digestate." *Waste Management*. 66. 53–60. doi:10.1016/j.wasman.2017.04.034.
- Iskandar, Taufik, dan Umi Rofiatin. 2017. "Karakteristik Biochar Berdasarkan Jenis Biomassa Dan Parameter Proses Pyrolysis Biochar Characteristics Based On Biomass Types And Pyrolysis Process Parameters." *Jurnal Teknik Kimia*. 12(1). 28–34.
- Isnainiyah, Novinka Sinta, Tusiana Putri Nelumbium, Fandika Firman Wijaksana, Pinsensius Andreas, dan Yudha Nurdian. 2023. "Pengolahan Limbah Jerami Padi menjadi Biochar untuk Meningkatkan Kualitas Tanah di Desa Tegal Mijin Bondowoso." *Abditani: Jurnal Pengabdian Masyarakat*. 6(1). 48–57.
- Kholis, M.N., & Sari, M. (2018). "Potensi Biomassa Limbah Pertanian Dalam Produksi Bioetanol." *Conference on Innovation and Application of Science and Technology (CIASTECH) Seminar Nasional Hasil Riset*. 453–458.
- Liu, Jingxin, Simian Huang, Kai Chen, Teng Wang, Meng Mei, dan Jinping Li. 2020. "Preparation of biochar from food waste digestate : Pyrolysis behavior and product properties." *Bioresource Technology*. 122841. doi:10.1016/j.biortech.2020.122841.
- Mierzwa, Monika, Hersztek Krzysztof, Gondek Marcin, dan Jewiarz Krzysztof. 2019. "Assessment Of Energy Parameters Of Biomass And Biochars , Leachability Of Heavy Metals And Phytotoxicity Of Their Ashes." *Journal of Material Cycles and Waste Management*. 21(4). 786–800. doi:10.1007/s10163-019-00832-6.
- Rhomadoni, Firda Rizki, Siti Jamilatun, M. Idris, dan Martomo Setyawan. 2024. "Mekanisme dan Aplikasi Pirolisis Biomassa Dalam Produksi Biochar, Bio-Oil dan Gas Pirolisis." *Semnasintek*. 01(01). 54–68.
- Siswati, Nana Dyah, Nur Laily Agustina, dan Dinda Mahdiyyah Santoso. 2022. "Biochar Dari Cangkang Biomassa Dengan Proses Karbonisasi." *Jurnal Teknik Kimia*. 16(2). 61–66.

doi:10.33005/jurnal_tekkim.v16i2.3046.

Zhaky, Muhammad, dan Eko Supriadi. 2024. "Prototype Digester Berpengaduk dan Sensor Pendeteksi Gas methane Berbasis IoT." *Jurnal Sains dan Teknologi*. 03(02). 123–131