Science and Education Journal
Vol 5 No 3 (2026)
E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

Optimasi Suhu Biochar Tongkol Jagung Terhadap Hasil Analisis Ultimate (C, H, N, S Dan O)

Wulan Triani Thalib[1], Astin Lukum[2], Vivi Dia Afrianti Sangkota[3], Wiwin Rewini Kunusa[4], Najmah[5]
[1]Universitas Negeri Gorontalo, wulan_slkimia@mahasiswa.ung.ac.id
[2]Universitas Negeri Gorontalo, astin.lukum@ung.ac.id
[3]Universitas Negeri Gorontalo, vivisangkota@ung.ac.id
[4]Universitas Negeri Gorontalo, rewinikunusa@ung.ac.id
[5]Universitas Negeri Gorontalo, najmahkim@ung.ac.id

Abstrak

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh tingginya ketersediaan limbah tongkol jagung di Provinsi Gorontalo yang belum dimanfaatkan secara optimal serta pentingnya pengendalian suhu pirolisis dalam menentukan karakteristik biochar. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi suhu pirolisis terhadap komposisi unsur karbon (C), hidrogen (H), nitrogen (N), sulfur (S), dan oksigen (O) pada biochar tongkol jagung serta menentukan kondisi suhu yang berpotensi menghasilkan biochar dengan karakteristik optimal. Penelitian dilakukan melalui eksperimen laboratorium dengan proses pirolisis pada suhu 400°C, 500°C, dan 600°C. Analisis kadar C, H, N, dan S dilakukan menggunakan instrumen FlashSmart Thermo Scientific, kadar abu ditentukan secara gravimetri berdasarkan SNI 06-3730-1995, sedangkan kadar O dihitung secara diferensial. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan suhu pirolisis meningkatkan kadar karbon dari 75,1747% pada 400°C menjadi 81,9156% pada 500°C dan 84,7559% pada 600°C. Kadar hidrogen menunjukkan pola fluktuatif, yaitu sebesar 4,6784% pada 400°C, menurun menjadi 4,1692% pada 500°C, kemudian meningkat menjadi 4,5454% pada 600°C. Sebaliknya, kadar nitrogen menurun dari 0,8744% menjadi 0,7865%, sedangkan kadar oksigen menurun dari 13,1273% menjadi 6,3224%. Kadar sulfur tidak terdeteksi pada seluruh perlakuan. Berdasarkan karakteristik komposisi unsur yang diperoleh, suhu 400°C ditetapkan sebagai kondisi yang paling sesuai untuk diarahkan sebagai bahan pembenah tanah karena menghasilkan komposisi unsur yang relatif lebih seimbang.

Kata Kunci: *Biochar Tongkol Jagung, Suhu Pirolisis, Analisis Ultimate, Komposisi Unsur, Pembenah Tanah*.

Abstract

This study was motivated by the abundant availability of corn cob waste in Gorontalo Province, which has not been optimally utilized, and the importance of controlling pyrolysis temperature in determining biochar characteristics. This study aimed to analyze the effects of different pyrolysis temperatures on the elemental composition of carbon (C), hydrogen (H), nitrogen (N), sulfur (S), and oxygen (O) in corn cob biochar and to identify the temperature conditions that could produce biochar with optimal characteristics. The research was conducted through laboratory experiments involving pyrolysis at temperatures of 400°C, 500°C, and 600°C. Carbon, hydrogen, nitrogen, and sulfur contents were determined using a Thermo Scientific FlashSmart elemental analyzer, ash content was measured gravimetrically according to SNI 06-3730-1995, and oxygen content was calculated using the difference method. The results showed that increasing the pyrolysis temperature increased the carbon content from 75.1747% at 400°C to 81.9156% at 500°C and 84.7559% at 600°C. Hydrogen content exhibited a fluctuating trend, decreasing from 4.6784% at 400°C to 4.1692% at 500°C, before increasing to 4.5454% at 600°C. Meanwhile, nitrogen content decreased from 0.8744% to 0.7865%, while oxygen content declined from

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

13.1273% to 6.3224%. Sulfur was not detected in any of the treatments. Based on the elemental composition characteristics obtained, a pyrolysis temperature of 400°C was identified as the most suitable condition for producing biochar intended for use as a soil amendment, as it resulted in a relatively more balanced elemental composition.

Keywords: *Corn Cob Biochar, Pyrolysis Temperature, Ultimate Analysis, Elemental Composition, Soil Amendment.*

Corresponding Author:
Wulan Triani Thalib

Universitas Negeri Gorontalo; wulan_slkimia@mahasiswa.ung.ac.id

PENDAHULUAN

Permintaan pangan di Indonesia terus mengalami peningkatan setiap tahun, khususnya terhadap komoditas strategis seperti padi, jagung, dan kedelai. Pemenuhan kebutuhan pangan merupakan aspek penting yang tidak dapat ditunda sehingga ketersediaan pangan (*available*) dan kemampuan masyarakat dalam mengaksesnya (*advorable*) perlu dijamin secara berkelanjutan (Septiadi & Nursan, 2021). Dalam konteks tersebut, jagung (*Zea mays L.*) merupakan salah satu komoditas pangan strategis setelah padi karena termasuk kelompok serealia yang memiliki nilai ekonomi tinggi dan berperan penting dalam sektor pertanian (Afandi & Adrianton, 2023). Jagung juga dibudidayakan secara luas di berbagai wilayah, termasuk Provinsi Gorontalo, serta memiliki volume produksi tahunan yang relatif tinggi dibandingkan beberapa jenis biji-bijian lainnya (R. A. Imran et al., 2025).

Peningkatan aktivitas budidaya jagung di Provinsi Gorontalo perlu diikuti dengan pengelolaan hasil samping pertanian secara berkelanjutan. Sebagian besar jagung di wilayah tersebut dibudidayakan pada lahan miring. Berdasarkan data BPS (2023), luas lahan jagung di Indonesia selama periode 2020–2023 masing-masing mencapai 2,38 juta ha, 2,33 juta ha, 2,76 juta ha, dan 2,48 juta ha. Sementara itu, luas lahan jagung di Provinsi Gorontalo pada periode yang sama berfluktuasi dari 126 ribu ha, 139 ribu ha, 141 ribu ha, hingga 114 ribu ha. Perubahan luas lahan tersebut berkontribusi terhadap perubahan produksi jagung baik secara nasional maupun di Provinsi Gorontalo (S. Imran et al., 2025). Produktivitas jagung di Provinsi Gorontalo juga mengalami fluktuasi. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS), produktivitas jagung tercatat sebesar 4,63 ton per hektar pada tahun 2020, meningkat menjadi 4,93 ton per hektar pada tahun 2022, kemudian menurun menjadi 4,62 ton per hektar pada tahun 2023, dan kembali meningkat menjadi 4,88 ton per hektar pada tahun 2024 (Abdullah et al., 2025).

Peningkatan produksi jagung tersebut berimplikasi terhadap bertambahnya jumlah limbah pertanian, khususnya tongkol jagung. Limbah tongkol jagung hingga saat ini belum dimanfaatkan secara optimal sebagai bahan yang berpotensi memperbaiki atau meregenerasi sifat tanah, khususnya di Provinsi Gorontalo. Padahal, bagian lain dari tanaman jagung, seperti batang, telah banyak dimanfaatkan masyarakat sebagai mulsa. Kondisi tersebut menunjukkan adanya kesenjangan antara tingginya ketersediaan biomassa tongkol jagung sebagai limbah pertanian dan pemanfaatannya sebagai sumber daya yang bernilai guna. Salah satu alternatif

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

pemanfaatan tongkol jagung yang berpotensi sebagai pembenah tanah adalah mengolahnya menjadi biochar (Sukmawati et al., 2024).

Biochar merupakan material padat yang dihasilkan melalui proses pirolisis, yaitu dekomposisi termal biomassa yang berasal dari berbagai sumber hayati. Pemanfaatan biochar dalam ekosistem pertanian semakin mendapat perhatian karena potensinya dalam meningkatkan produktivitas tanaman dan memperbaiki kualitas tanah (Manisankar & Vaishnavi, 2022). Selain itu, biochar berpotensi menekan emisi gas rumah kaca, meningkatkan penyimpanan karbon dalam tanah, memperbaiki kondisi tanah terdegradasi, mengurangi ketergantungan terhadap pupuk kimia, memperbaiki sifat fisik dan kimia tanah, menurunkan tingkat kontaminan, serta merangsang pertumbuhan tanaman (Zonayet et al., 2023). Dengan demikian, pengolahan tongkol jagung menjadi biochar dapat menjadi salah satu pendekatan dalam mengatasi permasalahan limbah pertanian sekaligus mendukung pengelolaan tanah secara berkelanjutan.

Karakteristik biochar sangat dipengaruhi oleh kondisi proses pirolisis, terutama suhu yang digunakan. Semakin tinggi suhu pirolisis, kandungan karbon dalam biochar cenderung semakin meningkat (Wijaya et al., 2021). Biochar yang dihasilkan pada suhu rendah umumnya masih mengandung senyawa volatil dan gugus fungsional aktif dalam jumlah relatif tinggi sehingga lebih sesuai untuk aplikasi perbaikan tanah. Sebaliknya, peningkatan suhu pirolisis hingga di atas 500 °C cenderung meningkatkan kandungan karbon tetap, menurunkan rasio H/C dan O/C, serta membentuk struktur aromatik yang lebih stabil dengan luas permukaan yang lebih besar (Wijitkosum, 2023). Selain suhu, kualitas biochar juga dipengaruhi oleh jenis biomassa dan proses pirolisis yang digunakan. Setiap biomassa memiliki komposisi kimia yang berbeda sebagai hasil dari proses pertumbuhan dan fotosintesis tanaman, sehingga perbedaan tersebut menjadi salah satu faktor utama yang menentukan karakteristik biochar yang dihasilkan (Prasetiyo et al., 2020).

Karakteristik unsur biochar dapat diketahui melalui pengujian *ultimate analysis*. Pengujian ultimate merupakan analisis untuk mengetahui kandungan unsur kimia utama, seperti karbon, hidrogen, nitrogen, sulfur, dan oksigen (Ekayuliana & Hidayati, 2020). Analisis tersebut memberikan informasi mengenai proporsi unsur dalam bahan yang dapat digunakan untuk membandingkan berbagai jenis bahan baku serta berperan dalam memperkirakan nilai kalor suatu material (Fahrussiam et al., 2023). Komposisi unsur C, H, N, S, dan O, serta kadar abu dan kadar air dalam biomassa turut memengaruhi karakteristik energi bahan tersebut. Energi yang dilepaskan ketika biomassa dibakar secara sempurna dan diukur berdasarkan kandungan kalorinya dikenal sebagai *Higher Heating Value* (HHV), sedangkan *Lower Heating Value* (LHV) berkaitan dengan energi setelah memperhitungkan energi yang diperlukan untuk menguapkan air dalam biomassa (Novita et al., 2021).

Hubungan antara suhu pirolisis dan karakteristik unsur biochar telah ditunjukkan dalam penelitian terdahulu. (Adekanye et al., 2022) melaporkan bahwa biochar yang dihasilkan dari tongkol jagung (*corn cob*) mengalami perubahan signifikan pada komposisi unsur utama ketika dipirolisis pada suhu 300 °C, 400 °C, dan 500 °C. Hasil analisis ultimate menunjukkan bahwa kandungan karbon meningkat seiring dengan peningkatan suhu pirolisis, sedangkan kandungan hidrogen dan oksigen cenderung menurun sebagai akibat proses dehidrasi dan dekarboksilasi selama pirolisis. Kondisi tersebut menghasilkan biochar dengan kandungan karbon yang lebih tinggi dan karakteristik kimia yang lebih stabil. Penurunan kandungan nitrogen juga diamati seiring dengan peningkatan suhu, yang menunjukkan terjadinya volatilasi beberapa unsur pada suhu pirolisis yang lebih tinggi. Temuan tersebut

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

menunjukkan bahwa pengaturan suhu merupakan faktor penting dalam mengoptimalkan karakteristik biochar untuk berbagai aplikasi.

Meskipun penelitian mengenai karakteristik biochar berdasarkan variasi suhu pirolisis telah dilakukan, analisis terhadap kandungan unsur kimia biochar berbahan dasar tongkol jagung lokal Gorontalo yang dihasilkan melalui proses pirolisis menggunakan *furnace* dengan variasi suhu pembakaran masih perlu dikaji lebih lanjut. Kesenjangan tersebut penting diteliti karena karakteristik bahan baku dan kondisi proses dapat memengaruhi komposisi unsur biochar yang dihasilkan. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis kandungan unsur kimia utama, yaitu karbon (C), hidrogen (H), nitrogen (N), sulfur (S), dan oksigen (O), pada biochar tongkol jagung Gorontalo yang dihasilkan melalui proses pirolisis menggunakan *furnace* dengan variasi suhu pembakaran. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan informasi mengenai karakteristik unsur biochar dan menentukan kondisi yang berpotensi menghasilkan biochar optimal untuk dimanfaatkan sebagai pembenah tanah.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan jenis penelitian eksperimen laboratorium yang bertujuan menganalisis pengaruh variasi suhu pirolisis terhadap komposisi unsur penyusun biochar tongkol jagung melalui analisis *ultimate*. Penelitian dilaksanakan pada April–Juni 2026 di Laboratorium Jurusan Ilmu dan Teknologi Pangan (ITP), Fakultas Pertanian, Universitas Negeri Gorontalo, serta Laboratorium Terpadu Universitas Tadulako untuk pengujian menggunakan flashmart thermo scientific. Bahan yang digunakan berupa limbah tongkol jagung sebagai bahan baku utama, sedangkan alat yang digunakan meliputi tanur (*furnace*), neraca analitik, cawan porselin, kaca arloji, spatula, desikator, penjepit krusibel, flashmart thermo scientific, mortar, dan alu.

Persiapan bahan baku dilakukan dengan membersihkan tongkol jagung dari sisa kulit dan pengotor, kemudian dipotong menjadi bagian-bagian kecil dan dikeringkan di bawah sinar matahari selama tiga hari hingga benar-benar kering (Nopiani et al., 2024). Bahan yang telah kering selanjutnya digunakan dalam proses pembuatan biochar melalui metode pirolisis pada kondisi oksigen terbatas menggunakan tanur. Pirolisis dilakukan pada variasi suhu 400 °C, 500 °C, dan 600 °C dengan waktu pirolisis yang disesuaikan untuk setiap perlakuan (Novita et al., 2021). Setelah proses pirolisis selesai, biochar didinginkan hingga mencapai suhu ruang sebelum dilakukan pengujian lebih lanjut.

Data penelitian diperoleh melalui eksperimen laboratorium yang meliputi kadar karbon (C), hidrogen (H), nitrogen (N), sulfur (S), abu, dan oksigen (O) pada biochar tongkol jagung dari setiap variasi suhu pirolisis. Kandungan C, H, N, dan S ditentukan menggunakan *flashmart thermo scientific* berdasarkan prinsip pembakaran kering (*dry combustion*). Sampel biochar dalam jumlah kecil dibakar pada suhu tinggi (>900 °C) hingga teroksidasi secara sempurna, kemudian gas hasil pembakaran, seperti CO_2, H_2O, NOx, dan SO_2, dipisahkan dan dideteksi secara kuantitatif untuk menentukan kandungan masing-masing unsur (Nzediegwu et al., 2021).

Kadar abu ditentukan secara gravimetri berdasarkan SNI 06-3730-1995. Sebanyak 3 gram sampel ditimbang ke dalam cawan yang telah diketahui bobotnya, kemudian dipanaskan dalam *furnace* pada suhu 800–900 °C selama 2 jam hingga bahan terbakar sempurna dan tersisa abu. Cawan selanjutnya didinginkan dalam desikator dan ditimbang kembali. Apabila bobot belum konstan, proses pembakaran dan penimbangan diulangi hingga diperoleh bobot tetap. Kadar oksigen ditentukan

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

secara diferensial setelah kadar C, H, N, S, dan abu diperoleh. Perhitungan kadar oksigen dilakukan berdasarkan persamaan (Almutairi et al., 2023):

$$\mathbf{O\ (\%) = 100 - (C + H + N + S + abu)\%}$$

Pengumpulan data dilakukan melalui hasil pengujian laboratorium menggunakan *flashmart thermo scientific* untuk menentukan kadar C, H, N, dan S, sedangkan kadar abu ditentukan berdasarkan SNI 06-3730-1995 dan kadar O dihitung secara diferensial berdasarkan hasil analisis unsur dan kadar abu. Data yang diperoleh dianalisis secara deskriptif dengan membandingkan kadar C, H, N, S, abu, dan O pada biochar yang dihasilkan dari suhu pirolisis 400 ℃, 500 ℃, dan 600 ℃. Hasil pengukuran disajikan dalam bentuk tabel untuk menunjukkan kecenderungan perubahan komposisi unsur akibat peningkatan suhu pirolisis. Selanjutnya, hasil tersebut diinterpretasikan berdasarkan teori dan penelitian terdahulu yang relevan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Ultimate Biochar Tongkol Jagung

Karakterisasi *ultimate* dilakukan terhadap biochar tongkol jagung yang dihasilkan melalui proses pirolisis pada suhu 400°C, 500°C, dan 600°C. Parameter yang dianalisis meliputi kadar karbon (C), hidrogen (H), nitrogen (N), sulfur (S), kadar abu, dan kadar oksigen (O). Hasil analisis kadar C, H, N, dan S disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil analisis ultimate biochar tongkol jagung pada berbagai suhu pirolisis

Suhu pirolisis (°C)	C (%)	H (%)	N (%)	S (%)
400	75.1747	4.6784	0.8744	0
500	81.9156	4.1692	0.8630	0
600	84.7559	4.5454	0.7865	0

Sumber: Data hasil penelitian.

Berdasarkan Tabel 1, kadar karbon tercatat sebesar 75.1747% pada suhu 400°C, 81.9156% pada suhu 500°C, dan 84.7559% pada suhu 600°C. Kadar hidrogen masing-masing sebesar 4.6784%, 4.1692%, dan 4.5454%. Kadar nitrogen sebesar 0.8744%, 0.8630%, dan 0.7865%, sedangkan kadar sulfur pada seluruh variasi suhu tercatat sebesar 0%.

Kadar Abu Biochar

Kadar abu biochar ditentukan berdasarkan metode SNI 06-3730-1995. Hasil pengujian kadar abu pada setiap variasi suhu pirolisis disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Kadar abu biochar tongkol jagung pada berbagai suhu pirolisis

Parameter	400°C	500°C	600°C	Standar SNI 06-3730-1995
Kadar abu (%)	6,1452	3,1483	3,5898	Maks. 2,5% (butiran); Maks. 10% (serbuk)

Sumber: Data hasil penelitian.

Berdasarkan Tabel 2, kadar abu biochar pada suhu 400°C sebesar 6,1452%, pada suhu 500°C sebesar 3,1483%, dan pada suhu 600°C sebesar 3,5898%.

Kadar Oksigen Biochar

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

Kadar oksigen ditentukan menggunakan metode diferensial berdasarkan hasil analisis kadar karbon, hidrogen, nitrogen, sulfur, dan kadar abu. Hasil perhitungan kadar oksigen disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Kadar oksigen biochar tongkol jagung pada berbagai suhu pirolisis

Parameter	400°C	500°C	600°C
Kadar oksigen (%)	13,1273	9,9039	6,3224

Sumber: Data hasil penelitian.

Berdasarkan Tabel 3, kadar oksigen biochar pada suhu pirolisis 400°C sebesar 13,1273%, pada suhu 500°C sebesar 9,9039%, dan pada suhu 600°C sebesar 6,3224%.

Pengaruh Suhu Pirolisis Terhadap Karakteristik Unsur Biochar

Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan suhu pirolisis dari 400°C hingga 600°C menghasilkan perubahan yang sistematis pada komposisi unsur biochar tongkol jagung, terutama pada karbon, nitrogen, dan oksigen. Pola tersebut menunjukkan bahwa suhu pirolisis merupakan parameter penting dalam menentukan tingkat karbonisasi dan karakteristik kimia biochar. Secara umum, peningkatan suhu mempercepat devolatilisasi dan dekomposisi komponen organik, sehingga fraksi karbon relatif meningkat, sedangkan unsur yang lebih mudah menguap cenderung berkurang. Temuan ini sejalan dengan kajian (Tomczyk et al., 2020) yang menunjukkan bahwa temperatur pirolisis merupakan salah satu faktor utama yang mengendalikan kandungan karbon, abu, bahan volatil, porositas, dan karakteristik permukaan biochar.

Peningkatan kandungan karbon pada biochar dengan kenaikan suhu menunjukkan semakin intensifnya proses karbonisasi. Pada temperatur yang lebih tinggi, komponen lignoselulosa mengalami depolimerisasi dan dekomposisi yang lebih ekstensif, disertai pelepasan senyawa volatil. Akibatnya, fraksi karbon relatif menjadi semakin dominan pada residu padat. Pola ini konsisten dengan hasil meta-analisis (Li et al., 2023) yang menunjukkan bahwa temperatur pirolisis tinggi cenderung meningkatkan kandungan karbon biochar, sementara kandungan nitrogen dan rasio H/C cenderung menurun.

Hasil tersebut juga mendukung temuan (Assirey & Altamimi, 2021) pada biochar berbahan dasar tongkol jagung yang menunjukkan bahwa karakteristik kimia biochar dipengaruhi oleh kondisi pirolisis. Dengan demikian, kandungan karbon yang lebih tinggi pada suhu pirolisis yang lebih tinggi dapat dipandang sebagai indikator meningkatnya derajat karbonisasi material. Dalam konteks pemanfaatan sebagai bahan pembenah tanah, karakter karbon yang semakin terkondensasi penting karena biochar dengan struktur karbon yang lebih stabil cenderung lebih resisten terhadap dekomposisi dibandingkan bahan organik yang belum mengalami karbonisasi secara intensif. (Assirey & Altamimi, 2021) secara khusus menunjukkan bahwa biochar tongkol jagung memiliki karakteristik kimia dan struktur yang dipengaruhi oleh temperatur produksi.

Perubahan tersebut berkaitan dengan transformasi komponen lignoselulosa selama pirolisis. Hemiselulosa dan selulosa mengalami dekomposisi pada rentang temperatur yang lebih rendah, sedangkan lignin memiliki struktur yang lebih kompleks dan terdegradasi secara lebih bertahap. Pada peningkatan temperatur, reaksi dehidrasi dan deoksigenasi semakin intensif sehingga fraksi oksigen dan hidrogen pada material padat cenderung menurun. Mekanisme tersebut menghasilkan material dengan tingkat aromatisasi yang lebih tinggi. (Wang et al., 2020) menjelaskan bahwa

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

peningkatan temperatur pirolisis menyebabkan depolimerisasi dan dehidrasi biomassa, diikuti peningkatan proporsi residu aromatik dan perubahan struktur biochar menuju bentuk yang semakin terkondensasi.

Perubahan Kandungan Hidrogen Dan Nitrogen

Berbeda dengan karbon yang menunjukkan kecenderungan meningkat, kandungan hidrogen dalam penelitian ini menunjukkan perubahan yang tidak sepenuhnya linear. Pola tersebut dapat dikaitkan dengan kompleksitas reaksi selama pirolisis dan perbedaan tingkat pelepasan komponen volatil pada masing-masing temperatur. Kandungan hidrogen dalam biochar tidak hanya ditentukan oleh temperatur maksimum, tetapi juga oleh karakteristik bahan baku, laju pemanasan, waktu tinggal, distribusi temperatur, serta kondisi atmosfer selama pirolisis. (Tomczyk et al., 2020) menegaskan bahwa perubahan karakteristik biochar akibat temperatur sangat bergantung pada jenis bahan baku dan kondisi operasi, sehingga respons setiap unsur tidak selalu menunjukkan hubungan linear terhadap temperatur.

Dengan demikian, perubahan kandungan hidrogen pada temperatur tinggi tidak tepat dipahami hanya sebagai akibat langsung kenaikan temperatur. Variasi kondisi proses dapat menyebabkan tingkat devolatilisasi yang berbeda sehingga sebagian fraksi hidrogen masih dapat bertahan dalam material padat. Temuan ini memperlihatkan bahwa pengendalian temperatur saja belum cukup untuk menjelaskan seluruh perubahan komposisi elemental biochar; waktu tinggal dan karakteristik bahan baku juga perlu dipertimbangkan sebagai variabel proses.

Kandungan nitrogen menunjukkan kecenderungan menurun dengan meningkatnya temperatur pirolisis. Pola ini lebih konsisten dengan mekanisme volatilasi nitrogen selama karbonisasi (Li et al., 2023) melalui meta-analisis menunjukkan bahwa temperatur pirolisis tinggi memberikan efek negatif terhadap kandungan nitrogen biochar pada berbagai jenis bahan baku. Hasil penelitian tersebut memperkuat temuan penelitian ini bahwa peningkatan temperatur dapat menyebabkan berkurangnya nitrogen yang dipertahankan dalam fase padat.

Temuan tersebut juga sesuai dengan (de Oliveira Paiva et al., 2024), yang menunjukkan bahwa peningkatan intensitas karbonisasi dapat menurunkan kandungan nitrogen total dan bentuk nitrogen yang lebih mudah tersedia. Studi tersebut menunjukkan bahwa kehilangan nitrogen selama pirolisis berkaitan dengan volatilitas spesies nitrogen dan sangat dipengaruhi oleh jenis bahan baku. Dengan demikian, penurunan nitrogen pada biochar tongkol jagung dapat dipahami sebagai konsekuensi dari semakin intensifnya devolatilisasi pada temperatur yang lebih tinggi, meskipun besarnya kehilangan nitrogen tetap bergantung pada komposisi awal biomassa.

Implikasinya adalah bahwa pemilihan temperatur produksi perlu disesuaikan dengan tujuan penggunaan biochar. Temperatur tinggi lebih menguntungkan apabila prioritas utama adalah menghasilkan material dengan kandungan karbon yang tinggi dan karakter yang lebih stabil. Sebaliknya, apabila retensi nitrogen menjadi salah satu tujuan utama, temperatur yang terlalu tinggi berpotensi mengurangi jumlah nitrogen yang dipertahankan dalam biochar. Oleh sebab itu, karakteristik biochar perlu dipandang sebagai hasil kompromi antara tingkat karbonisasi dan retensi unsur hara.

Kandungan Sulfur Dan Implikasinya

Kandungan sulfur yang tidak terdeteksi pada seluruh perlakuan menunjukkan bahwa sulfur bukan merupakan unsur dominan dalam fraksi padat biochar tongkol jagung yang dihasilkan pada kondisi penelitian ini. Nilai tersebut dapat berkaitan

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

dengan rendahnya kandungan sulfur awal bahan baku maupun perpindahan sulfur ke fase volatil selama proses pirolisis. Interpretasi ini perlu dilakukan secara hati-hati karena nilai nol pada hasil analisis elemental tidak selalu identik dengan ketiadaan absolut sulfur, tetapi dapat pula menunjukkan bahwa konsentrasinya berada di bawah batas deteksi instrumen.

Fenomena tersebut sejalan dengan kajian (Leng et al., 2022) yang menunjukkan bahwa sulfur dalam biomassa mengalami transformasi selama pirolisis dan distribusi sulfur antara fase padat dan gas dipengaruhi oleh temperatur, jenis biomassa, serta bentuk kimia sulfur dalam bahan baku. Dengan demikian, tidak terdeteksinya sulfur dalam penelitian ini menunjukkan bahwa kondisi bahan baku dan proses yang digunakan tidak menghasilkan retensi sulfur yang terukur pada biochar.

Perubahan Kadar Abu Biochar

Perubahan kadar abu pada berbagai temperatur menunjukkan pola yang tidak linear. Kondisi tersebut penting karena kadar abu tidak semata-mata merupakan parameter yang dikendalikan oleh temperatur, tetapi merupakan hasil interaksi antara kandungan mineral awal biomassa dan tingkat kehilangan komponen organik selama pirolisis. Ketika fraksi organik terdekomposisi dan volatil terlepas, komponen mineral relatif menjadi lebih dominan pada residu padat.

(Wang et al., 2020) menjelaskan bahwa peningkatan temperatur umumnya menyebabkan berkurangnya bahan volatil dan dapat meningkatkan proporsi abu dalam biochar. Namun, perubahan aktual kadar abu sangat bergantung pada jenis bahan baku dan kondisi proses. Hal tersebut diperkuat oleh (Wang et al., 2020) yang menunjukkan bahwa temperatur dan waktu tinggal secara bersama-sama memengaruhi karakteristik biochar yang berasal dari residu pertanian. Dengan demikian, perubahan kadar abu yang tidak linear dalam penelitian ini dapat dipahami sebagai hasil interaksi antara temperatur dengan karakteristik mineral bahan baku serta kondisi operasi pirolisis.

Kondisi tersebut juga menunjukkan bahwa evaluasi kualitas biochar tidak dapat dilakukan hanya berdasarkan satu parameter. Kandungan abu perlu dipertimbangkan bersama kandungan karbon, nitrogen, oksigen, dan karakteristik lainnya. Biochar dengan kandungan karbon tinggi tidak secara otomatis memiliki karakteristik paling sesuai untuk seluruh tujuan aplikasi karena peningkatan temperatur dapat menghasilkan perubahan simultan pada kandungan mineral, gugus fungsi permukaan, dan sifat fisik material.

Penurunan Kandungan Oksigen Dan Perubahan Struktur Biochar

Salah satu perubahan paling konsisten dalam penelitian ini adalah penurunan kandungan oksigen seiring peningkatan temperatur pirolisis. Pola tersebut menunjukkan berlangsungnya proses deoksigenasi yang semakin intensif. Pada temperatur yang lebih tinggi, gugus fungsi yang mengandung oksigen lebih banyak terurai sehingga oksigen dilepaskan bersama produk volatil. Kondisi ini menghasilkan material dengan kandungan karbon relatif lebih tinggi dan struktur yang semakin aromatik.

Temuan tersebut konsisten dengan (Wang et al., 2020), yang menjelaskan bahwa penurunan kandungan hidrogen dan oksigen selama peningkatan temperatur berkaitan dengan dehidrasi dan deoksigenasi biomassa serta meningkatnya tingkat aromatisasi biochar. Temuan ini juga didukung oleh (Chen et al., 2024), yang menjelaskan bahwa temperatur pirolisis memengaruhi pembentukan dan keberadaan gugus fungsi yang mengandung oksigen pada permukaan biochar.

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

Hasil penelitian (Barszcz et al., 2024) memberikan dukungan lebih lanjut terhadap mekanisme tersebut. Pada temperatur yang lebih tinggi, gugus fungsi yang mengandung hidrogen dan oksigen cenderung menghilang akibat proses dehidrasi dan deoksigenasi. Kondisi tersebut menyebabkan permukaan biochar menjadi semakin didominasi struktur karbon aromatik.

Perubahan oksigen tersebut memiliki implikasi terhadap karakter permukaan biochar. Pada temperatur yang lebih rendah, keberadaan gugus hidroksil, karboksil, karbonil, dan gugus oksigen lainnya dapat memberikan sifat permukaan yang lebih polar. Sebaliknya, peningkatan temperatur menyebabkan berkurangnya gugus-gugus tersebut dan meningkatkan sifat aromatik serta kestabilan karbon. Oleh karena itu, penurunan oksigen yang diamati dalam penelitian ini dapat dipandang sebagai indikator perubahan kimia permukaan yang menyertai peningkatan derajat karbonisasi.

Namun demikian, implikasi terhadap fungsi biochar sebagai pembenah tanah tidak dapat ditentukan hanya berdasarkan kandungan oksigen. Kapasitas tukar kation, retensi air, stabilitas karbon, porositas, pH, dan ketersediaan unsur hara juga berperan dalam menentukan efektivitas biochar. (Ippolito et al., 2020) menunjukkan bahwa karakteristik biochar dipengaruhi secara simultan oleh jenis bahan baku, temperatur, dan tipe proses pirolisis sehingga tidak terdapat satu kondisi produksi yang secara universal menghasilkan biochar terbaik untuk seluruh tujuan aplikasi.

SIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi suhu pirolisis memengaruhi karakteristik elemental biochar tongkol jagung, terutama kandungan karbon, nitrogen, dan oksigen, serta memengaruhi kadar abu yang dihasilkan. Peningkatan suhu pirolisis menghasilkan biochar dengan karakter yang semakin kaya karbon dan semakin rendah kandungan oksigennya, sedangkan kandungan nitrogen cenderung menurun. Berdasarkan karakteristik komposisi unsur yang diperoleh, biochar pada suhu pirolisis 400°C ditetapkan sebagai kondisi yang paling sesuai dalam penelitian ini untuk diarahkan sebagai bahan pembenah tanah karena menghasilkan komposisi unsur yang relatif lebih seimbang dibandingkan perlakuan suhu yang lebih tinggi. Temuan ini menunjukkan bahwa pengaturan suhu pirolisis menjadi faktor penting dalam memperoleh karakteristik biochar tongkol jagung sesuai tujuan pemanfaatannya.

Secara praktis, biochar tongkol jagung hasil pirolisis pada 400°C dapat dipertimbangkan sebagai kandidat bahan pembenah tanah, tetapi efektivitasnya belum dapat dipastikan hanya berdasarkan karakterisasi *ultimate*. Keterbatasan penelitian ini terletak pada belum dilakukannya pengujian langsung terhadap sifat tanah dan respons tanaman setelah aplikasi biochar. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya perlu menguji biochar tersebut pada berbagai jenis tanah dan tanaman untuk mengevaluasi pengaruhnya terhadap sifat fisik, kimia, dan biologis tanah serta pertumbuhan tanaman. Penelitian lanjutan juga perlu mengoptimalkan parameter proses berupa *holding time* dan laju pemanasan serta melengkapi karakterisasi biochar, antara lain melalui analisis gugus fungsi, luas permukaan, porositas, pH, kapasitas tukar kation, dan stabilitas karbon, sehingga kondisi produksi yang paling sesuai untuk aplikasi pembenah tanah dapat ditentukan secara lebih komprehensif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pihak Jurusan, Laboratorium Jurusan Ilmu dan Teknologi Pangan, serta Laboratorium Terpadu Universitas Tadulako atas fasilitas dan

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

dukungan selama pelaksanaan penelitian. Terima kasih juga disampaikan kepada dosen pembimbing dan seluruh pihak yang telah memberikan arahan serta bantuan hingga penelitian dan penyusunan artikel ini dapat diselesaikan.

DAFTAR PUSTAKA

Abdullah, A., Zain Olilingo, F., Hadi, F., & Akib, Y. (2025). Analisis Produktivitas Jagung di Kecamatan Pulubala, Kabupaten Gorontalo. *Issues*, *8*.

Adekanye, T., Dada, O., & Kolapo, J. (2022). Pyrolysis of maize cob at different temperatures for biochar production: Proximate, ultimate and spectroscopic characterisation. *Research in Agricultural Engineering*, *68*(1), 27–34. https://doi.org/10.17221/106/2020-RAE

Afandi, I., & Adrianton. (2023). Respon Pupuk NPK Phonska dan Pupuk Organik Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Jagung Manis (Zea mays sacharata Sturt). *J. Agrotekbis*, *11*(4), 866–877.

Almutairi, A. A., Ahmad, M., Rafique, M. I., & Al-Wabel, M. I. (2023). Variations in composition and stability of biochars derived from different feedstock types at varying pyrolysis temperature. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, *22*(1), 25–34. https://doi.org/10.1016/j.jssas.2022.05.005

Assirey, E. A., & Altamimi, L. R. (2021). Chemical analysis of corn cob-based biochar and its role as water decontaminants. *Journal of Taibah University for Science*, *15*(1), 111–121. https://doi.org/10.1080/16583655.2021.1876350

Barszcz, W., Łożyńska, M., & Molenda, J. (2024). Impact of pyrolysis process conditions on the structure of biochar obtained from apple waste. *Scientific Reports*, *14*(1). https://doi.org/10.1038/s41598-024-61394-8

Chen, J., Zhou, J., Zheng, W., Leng, S., Ai, Z., Zhang, W., Yang, Z., Yang, J., Xu, Z., Cao, J., Zhang, M., Leng, L., & Li, H. (2024). A complete review on the oxygen-containing functional groups of biochar: Formation mechanisms, detection methods, engineering, and applications. *Science of The Total Environment*, *946*, 174081. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.174081

de Oliveira Paiva, I., de Morais, E. G., Jindo, K., & Silva, C. A. (2024). Biochar N Content, Pools and Aromaticity as Affected by Feedstock and Pyrolysis Temperature. *Waste and Biomass Valorization*, *15*(6), 3599–3619. https://doi.org/10.1007/s12649-023-02415-x

Ekayuliana, A., & Hidayati, N. (2020). Analisis Nilai Kalor dan Nilai Ultimate Briket Sampah Organik Dengan Bubur Kertas. *Jurnal Mekanik Terapan*, *01*.

Fahrussiam, F., Lestari, D., & Ningsih, R. V. (2023). Calorific value of several types of wood through proximate analysis and chemical components approach. *Jurnal Biologi Tropis*, *23*(1), 355–359.

Imran, R. A., Lukum, A., Kunusa, W. R., Salimi, Y. K., Mohamad, E., & Arviani. (2025). Analisis Kadar N-total Tanah pada Pertumbuhan Tanaman Jagung yang Diberikan Pupuk NPK-Biochar-Kitosan. *Pentagon: Jurnal Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam*, *3*(1), 1–14. https://doi.org/10.62383/pentagon.v3i1.384

Imran, S., Indriani, R., Sirajuddin, Z., & Yamin, M. (2025). Pemberdayaan Masyarakat: Pemanfaatan Limbah Jagung Menjadi Biochar Untuk Regenerasi Tanah Berbasis Organik Di Gorontalo. *MALLOMO: Journal of Community Service*, *5*(2), 592–601. https://jurnal.umsrappang.ac.id/mallomo/index

Ippolito, J. A., Cui, L., Kammann, C., Wrage-Mönnig, N., Estavillo, J. M., Fuertes-Mendizabal, T., Cayuela, M. L., Sigua, G., Novak, J., Spokas, K., & Borchard, N. (2020). Feedstock choice, pyrolysis temperature and type influence biochar characteristics: A comprehensive meta-data analysis review. *Biochar*, *2*(4), 421–

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

438. https://doi.org/10.1007/s42773-020-00067-x

Leng, L., Liu, R., Xu, S., Mohamed, B. A., Yang, Z., Hu, Y., Chen, J., Zhao, S., Wu, Z., Peng, H., Li, H., & Li, H. (2022). An overview of sulfur-functional groups in biochar from pyrolysis of biomass. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, *10*(2), 107185. https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.107185

Li, Y., Gupta, R., Zhang, Q., & You, S. (2023). Review of biochar production via crop residue pyrolysis: Development and perspectives. *Bioresource Technology*, *369*. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.128423

Manisankar, G., & Vaishnavi, P. (2022). Potential Impact of Biochar in Agriculture: A Review. *Research Journal of Agricultural Sciences: An International Journal*, *13*, 466–475. http://www.rjas.org

Nopiani, Y., Rossi, E., & Arnas, N. (2024). Karakterisasi Arang Aktif dari Tongkol Jagung dengan Variasi Konsentrasi Aktivator Natrium Klorida. *Jurnal Teknotan*, *18*(2), 149–156. https://doi.org/10.24198/jt.vol18n2.9

Novita, S. A., Santosa, S., Nofialdi, N., Andasuryani, A., & Fudholi, A. (2021). Artikel Review: Parameter Operasional Pirolisis Biomassa. *Agroteknika*, *4*(1), 53–67. https://doi.org/10.32530/agroteknika.v4i1.105

Nzediegwu, C., Naeth, M. A., & Chang, S. X. (2021). Elemental composition of biochars is affected by methods used for its determination. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, *156*. https://doi.org/10.1016/j.jaap.2021.105174

Prasetiyo, Y., Hidayat, B., & Bintang, S. (2020). Karakteristik Kimia Biochar Dari Beberapa Biomassa Dan Metode Pirolisis. *Agrium*, *23*(1). https://doi.org/10.30596/agrium.v21i3.2456

Septiadi, D., & Nursan, M. (2021). Analisis Pendapatan Dan Kelayakan Usahatani Jagung Di Kabupaten Dompu: Income And Feasibility Analysis Of Corn Farming In Dompu Regency. *Agroteksos*, *31*(2).

Sukmawati, Rahim, I., Arodhiskara, Y., Selao, A., & Syafnur, A. (2024). Pemanfaatan Biochar Dari Tongkol Jagung Sebagai Pupuk Slow-Release Pada Lahan Kebun Kakao Milik Kelompok Tani Mamminasa Deceng Di Kabupaten Soppeng. *Jurnal Dinamika Pengabdian*, *9*(2), 331–338.

Tomczyk, A., Sokołowska, Z., & Boguta, P. (2020). Biochar physicochemical properties: pyrolysis temperature and feedstock kind effects. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, *19*(1), 191–215. https://doi.org/10.1007/s11157-020-09523-3

Wang, S., Zhang, H., Huang, H., Xiao, R., Li, R., & Zhang, Z. (2020). Influence of temperature and residence time on characteristics of biochars derived from agricultural residues: A comprehensive evaluation. *Process Safety and Environmental Protection*, *139*, 218–229. https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.03.028

Wijaya, B. A., Riniarti, M., Prasetia, H., Hidayat, W., Niswati, A., Hasanudin, U., Irwan, D., & Banuwa, S. (2021). Interaksi Perlakuan Dosis Dan Suhu Pirolisis Pembuatan Biochar Kayu Meranti (Shorea spp.) Mempengaruhi Kecepatan Tumbuh Sengon (Paraserianthes moluccana). *Hut Trop*, *5*(2).

Wijitkosum, S. (2023). Influence of Pyrolysis Temperature and Time on Biochar Properties and Its Potential for Climate Change Mitigation. *Journal of Human, Earth, and Future*, *4*(4). http://www.hefjournal.org

Zonayet, M., Paul, A. K., Faisal-E-Alam, M., Syfullah, K., Castanho, R. A., & Meyer, D. (2023). Impact of Biochar as a Soil Conditioner to Improve the Soil Properties of Saline Soil and Productivity of Tomato. *Sustainability*, *15*(6). https://doi.org/10.3390/su15064832