

Pengaruh Aplikasi Biochar Kulit Kakao pada Berbagai Suhu Pirolisis terhadap Pertumbuhan Vegetatif Tebu Varietas Bululawang

Farhan Abiyyu Lubis¹, Anna Kusumawati^{1*}

¹Program Studi Pengelolaan Perkebunan, Politeknik LPP Yogyakarta

Email: kusumawatianna@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas biochar kulit kakao pada suhu pirolisis berbeda terhadap pertumbuhan vegetatif tebu varietas Bululawang yang ditanam pada tanah Grumusol di Wedomartani, Yogyakarta. Penelitian ini dilatarbelakangi oleh rendahnya produktivitas tebu akibat sifat fisik tanah Grumusol yang liat berat dan kemampuan aerasi yang rendah. Biochar sebagai bahan pembenah tanah digunakan untuk memperbaiki struktur, meningkatkan ketersediaan unsur hara, serta mendukung pertumbuhan tanaman secara berkelanjutan. Penelitian dilaksanakan selama tujuh bulan menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) dengan tiga perlakuan, yaitu B0 (tanpa biochar), B3 (biochar kulit kakao suhu pirolisis 300 °C), dan B5 (biochar kulit kakao suhu pirolisis 500 °C), masing-masing diulang sebanyak sembilan kali sehingga diperoleh 27 satuan percobaan. Parameter yang diamati meliputi tinggi tanaman, diameter batang, jumlah daun, jumlah ruas, jumlah anakan, panjang akar, serta berat segar organ tanaman. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan B3 memberikan pertumbuhan vegetatif terbaik dibandingkan B0 dan B5. Suhu pirolisis 300 °C menghasilkan biochar dengan struktur pori dan kandungan hara yang lebih seimbang, sehingga lebih efektif memperbaiki sifat fisik-kimia tanah Grumusol. Sementara itu, biochar suhu tinggi (500 °C) cenderung kehilangan senyawa volatil yang berperan dalam ketersediaan hara. Secara keseluruhan, penggunaan biochar kulit kakao suhu pirolisis 300 °C terbukti meningkatkan pertumbuhan vegetatif tebu varietas Bululawang dan berpotensi diterapkan dalam pengelolaan lahan tebu berkelanjutan di wilayah Yogyakarta.

Kata kunci: Biochar kulit kakao, Pirolisis, Tanah grumusol, Tebu Bululawang, Pertumbuhan vegetatif

Abstract

This study aims to determine the effectiveness of cocoa shell biochar at different pyrolysis temperatures on the vegetative growth of Bululawang sugarcane varieties planted on Grumusol soil in Wedomartani, Yogyakarta. This study was motivated by the low productivity of sugarcane due to the heavy clay physical properties of Grumusol soil and its low aeration capacity. Biochar as a soil conditioner is used to improve structure, increase nutrient availability, and support sustainable plant growth. The study was conducted over seven months using a completely randomized design (CRD) with three treatments, namely B0 (without biochar), B3 (cocoa shell biochar at a pyrolysis temperature of 300 °C), and B5 (cocoa shell biochar at a pyrolysis temperature of 500 °C), each repeated nine times to obtain 27 experimental units. The parameters observed included plant height, stem diameter, number of leaves, number of nodes, number of tillers, root length, and fresh weight of plant organs. The results showed that treatment B3 provided the best vegetative growth compared to B0 and B5. A pyrolysis temperature of 300 °C produced biochar with a more balanced pore structure and nutrient content, making it more effective in improving the physical and chemical properties of Grumusol soil. Meanwhile, high-temperature biochar (500 °C) tends to lose volatile compounds that play a role in nutrient availability. Overall, the use of 300 °C pyrolysis cocoa shell biochar has been shown to increase the vegetative growth of Bululawang sugarcane varieties and has the potential to be applied in sustainable sugarcane land management in the Yogyakarta region.

Keywords: Cocoa husk biochar, Pyrolysis, Grumusol soil, Bululawang sugarcane, Vegetative growth

PENDAHULUAN

Produksi pangan global terus menghadapi tantangan besar berupa peningkatan kebutuhan penduduk, degradasi lahan pertanian, serta dampak perubahan iklim yang kian nyata. Salah satu pendekatan yang diakui secara luas untuk menjawab tantangan ini adalah penerapan teknologi pertanian berkelanjutan melalui pemanfaatan amandemen tanah berbasis bahan organik. Dalam konteks ini, biochar menjadi perhatian global karena kemampuannya meningkatkan kualitas tanah, menyerap karbon, dan memperbaiki keseimbangan ekosistem pertanian. Biochar adalah residu karbon padat hasil pirolisis biomassa pada kondisi terbatas oksigen, yang telah banyak dipelajari sebagai bahan pembenah tanah (Premalatha *et al.*, 2023). Dalam skala global berbagai penelitian telah menunjukkan bahwa biochar dapat meningkatkan ketersediaan unsur hara dan memperbaiki struktur tanah, terutama jika diproduksi dalam rentang suhu pirolisis menengah (300–500°C). Suhu pirolisis diketahui mempengaruhi struktur pori, kapasitas tukar kation, pH, dan kandungan karbon biochar, yang pada gilirannya menentukan efektivitasnya terhadap pertumbuhan tanaman (Adesina *et al.*, 2025). Sebagai contoh, Zhou *et al.* (2024) melaporkan bahwa peningkatan suhu pirolisis dari 300°C menjadi 500°C mampu meningkatkan kestabilan biochar namun mengurangi kandungan senyawa volatil, sehingga mempengaruhi ketersediaan nutrisi bagi tanaman. Kajian oleh Khater *et al.* (2024) di *Scientific Reports* juga menunjukkan bahwa perubahan suhu pirolisis berimplikasi langsung pada sifat fisik dan kimia biochar, di mana biochar bersuhu tinggi cenderung lebih stabil namun memiliki kemampuan adsorpsi unsur hara lebih rendah. Hal ini mengindikasikan pentingnya penelitian lanjut untuk menemukan suhu pirolisis yang optimal bagi bahan biochar tertentu agar dapat memberikan hasil terbaik bagi pertumbuhan tanaman.

Dalam konteks nasional, Indonesia merupakan negara agraris dengan produksi limbah pertanian dan perkebunan yang sangat besar. Salah satu limbah yang potensial adalah kulit kakao (*Theobroma cacao*), yang jumlahnya bisa mencapai 52–76% dari total berat buah kakao (Ouattara *et al.*, 2021). Sebagian besar limbah tersebut belum dimanfaatkan secara optimal dan sering menjadi sumber pencemaran lingkungan. Padahal, menurut penelitian Saputra (2024), biochar yang dihasilkan dari limbah kulit kakao terbukti dapat meningkatkan pH tanah, memperbaiki kapasitas tukar kation (KTK), serta meningkatkan ketersediaan fosfor pada tanah ultisol di Aceh. Hasil tersebut sejalan dengan temuan Li *et al.* (2023) yang menunjukkan bahwa peningkatan suhu pirolisis berpengaruh

terhadap peningkatan porositas biochar dan kestabilan karbonnya, yang berdampak pada perbaikan sifat fisik tanah. Meskipun demikian, penelitian-penelitian tersebut umumnya masih terbatas pada pengujian di laboratorium atau pada jenis tanah selain grumusol, serta belum menyentuh aplikasi pada tanaman utama seperti tebu.

Tebu (*Saccharum officinarum L.*) merupakan salah satu komoditas penting dalam industri gula nasional, yang produksinya dipengaruhi beberapa indikator salah satunya kondisi tanah dan ketersediaan unsur hara. Di Indonesia, produktivitas tebu masih menghadapi tantangan akibat degradasi lahan dan penurunan kesuburan tanah, terutama pada jenis tanah berat seperti grumusol. Tanah grumusol memiliki kandungan liat yang tinggi dan struktur yang padat, menyebabkan aerasi serta drainase yang buruk. Kondisi tersebut menghambat pertumbuhan akar dan mengurangi efisiensi penyerapan unsur hara. Oleh karena itu, diperlukan upaya pembenahan tanah untuk meningkatkan pertumbuhan vegetatif tebu, terutama pada varietas unggul seperti Bululawang yang banyak dikembangkan di daerah Yogyakarta dan Jawa Tengah.

Penelitian yang dilakukan oleh Abedini *et al.* (2020) menunjukkan bahwa kulit kakao yang dipirolisis dapat menghasilkan biochar dengan karakteristik penyerapan yang tinggi, meskipun penelitian tersebut lebih berfokus pada sorpsi CO₂, bukan pada aplikasi agronomis. Sementara itu, Premalatha *et al.* (2023) dalam tinjauannya menegaskan bahwa biochar yang dihasilkan pada suhu pirolisis menengah (sekitar 300–500°C) memiliki keseimbangan terbaik antara kestabilan karbon dan kemampuan menyimpan unsur hara. Hal ini menjadi dasar untuk menguji efektivitas biochar kulit kakao pada dua rentang suhu pirolisis berbeda terhadap pertumbuhan tanaman di lapangan.

Kawasan di wilayah Wedomartani, Kecamatan Sleman, Yogyakarta, merupakan daerah dengan karakteristik tanah grumusol yang cukup luas dan digunakan untuk berbagai komoditas pertanian, termasuk tebu varietas Bululawang. Kondisi tanah yang berat dan relatif miskin bahan organik menjadikan lokasi ini ideal untuk menguji efektivitas amandemen biochar. Pemanfaatan limbah kulit kakao yang tersedia di sekitar wilayah Yogyakarta sebagai bahan dasar biochar memiliki nilai yang strategis, baik dari sisi ekonomi maupun lingkungan. Selain mengurangi limbah agroindustri, biochar kulit kakao diharapkan dapat memperbaiki sifat fisik dan kimia tanah grumusol sehingga meningkatkan pertumbuhan vegetatif tebu. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya menawarkan solusi teknis terhadap masalah produktivitas tebu, tetapi juga berkontribusi terhadap pengelolaan limbah berkelanjutan dan efisiensi sumber daya lokal.

Beberapa penelitian terdahulu memang telah mengkaji pengaruh biochar terhadap tanaman pangan seperti jagung, padi, dan kedelai, namun masih terbatas pada tanah jenis ultisol atau tanah salin (Zhou *et al.*, 2024; Saputra, 2024). Hingga saat ini belum ditemukan penelitian kuantitatif yang secara spesifik membahas penggunaan biochar kulit kakao dengan variasi suhu pirolisis berbeda pada tanaman tebu varietas Bululawang di tanah grumusol. Hal ini menunjukkan adanya *research gap* yang ingin diisi melalui penelitian ini. Kebaruan penelitian (novelty) terletak pada kombinasi unik antara bahan biochar (kulit kakao), perlakuan suhu pirolisis (300°C dan 500°C), varietas tanaman (Bululawang), serta kondisi spesifik tanah grumusol, yang akan diamati secara kuantitatif melalui rancangan acak lengkap (RAL) dengan 27 unit percobaan selama tujuh bulan.

Penelitian ini juga memiliki urgensi praktis bagi petani dan penyuluh pertanian. Dengan mengetahui suhu pirolisis optimal untuk menghasilkan biochar yang paling efektif dalam meningkatkan pertumbuhan vegetatif tebu, hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar rekomendasi penggunaan biochar lokal berbasis limbah kakao di lapangan. Pendekatan ini mendukung strategi pertanian berkelanjutan, meningkatkan efisiensi input, serta mendorong praktik ekonomi sirkular di sektor perkebunan. Selain itu, penerapan hasil penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi pada peningkatan produktivitas tebu nasional serta pengurangan limbah agroindustri yang belum termanfaatkan.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas biochar yang dihasilkan dari kulit kakao dengan suhu pirolisis berbeda, yaitu 300°C dan 500°C, terhadap pertumbuhan vegetatif tanaman tebu varietas Bululawang di tanah grumusol Wedomartani. Selama periode tujuh bulan, setiap perlakuan akan diulang sebanyak sembilan kali dengan total 27 unit percobaan. Parameter yang diamati meliputi tinggi tanaman, diameter batang, jumlah daun, jumlah ruas, panjang akar, serta berat segar dan berat kering daun, batang, dan akar. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan pemahaman mendalam mengenai hubungan antara suhu pirolisis biochar kulit kakao, dan respons pertumbuhan vegetatif tebu, serta menjadi dasar ilmiah dalam pengelolaan lahan tebu berkelanjutan di wilayah Yogyakarta dan Indonesia pada umumnya.

METODE

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif eksperimental dengan rancangan Rancangan Acak Lengkap (RAL) yang bertujuan untuk mengetahui efektivitas biochar kulit kakao pada suhu pirolisis berbeda terhadap pertumbuhan vegetatif tebu varietas Bululawang. Penelitian ini dilaksanakan selama 8 (delapan) bulan, yaitu dimulai dari bulan

Januari 2025 sampai Agustus 2025, yang mencakup kegiatan persiapan lahan, penanaman, pemeliharaan, pengambilan data akhir, hingga analisis laboratorium. Kegiatan dilakukan di dua lokasi utama, yaitu di Green House yang berlokasi di Wedomartani, Kecamatan Ngemplak, Kabupaten Sleman, Yogyakarta, sebagai tempat pelaksanaan percobaan dan pengamatan tanaman tebu, dan di Laboratorium Universitas Muhammadiyah Yogyakarta (UMY) sebagai tempat analisis karakteristik biochar. Pemilihan lokasi ini dilakukan berdasarkan pertimbangan ketersediaan fasilitas, kemudahan kontrol, serta kelayakan teknis dalam mendukung penelitian berbasis eksperimental. Populasi penelitian adalah seluruh tanaman tebu varietas Bululawang, dengan sampel berupa unit percobaan yang terdiri atas tiga perlakuan, yaitu B0 (tanpa biochar), B3 (biochar kulit kakao dengan suhu pirolisis 300 °C), dan B5 (biochar kulit kakao dengan suhu pirolisis 500 °C). Masing-masing perlakuan diulang sebanyak sembilan kali, sehingga diperoleh 27 unit percobaan. Proses randomisasi dilakukan untuk menghindari bias dan memastikan homogenitas antar unit perlakuan (Thomas & Zubkov, 2023). Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi bibit tebu varietas Bululawang, tanah grumusol, serta biochar kulit kakao yang dihasilkan melalui proses pirolisis di suhu 300 °C dan 500 °C di bawah kondisi oksigen terbatas. Alat yang digunakan meliputi meteran, vernier caliper, oven pengering, timbangan analitik, serta perlengkapan budidaya tanaman.

Pelaksanaan penelitian diawali dengan persiapan lahan dan media tanam, dilanjutkan dengan aplikasi biochar sesuai perlakuan, penanaman bibit, serta pemeliharaan rutin hingga masa pengamatan selesai. Parameter pertumbuhan vegetatif yang diamati meliputi tinggi tanaman, diameter batang, jumlah daun, jumlah ruas, panjang akar, berat segar daun, batang, dan akar. Data dikumpulkan melalui pengukuran langsung di lapangan dan laboratorium secara berkala selama periode penelitian. Data yang diperoleh dianalisis menggunakan uji analisis varians (ANOVA) sesuai rancangan RAL untuk mengetahui pengaruh perlakuan terhadap parameter yang diamati, dan dilanjutkan dengan uji lanjut Tukey HSD. Hasil analisis disajikan dalam bentuk tabel dan grafik, serta diinterpretasikan secara deskriptif untuk menjelaskan hubungan antara suhu pirolisis biochar kulit kakao dan pertumbuhan vegetatif tebu. Dengan desain eksperimen yang terkontrol, replikasi yang memadai, dan analisis statistik yang sesuai, penelitian ini diharapkan menghasilkan temuan empiris yang dapat memperkaya literatur tentang pemanfaatan biochar limbah pertanian dalam peningkatan produktivitas tebu di tanah grumusol.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian mengenai “Pengaruh Aplikasi Biochar Kulit Kakao pada Berbagai Suhu Pirolisis terhadap Pertumbuhan Vegetatif Tebu Varietas Bululawang” menghasilkan dua kelompok data utama yaitu: karakteristik kimia biochar kulit kakao berdasarkan suhu pirolisis, dan respons pertumbuhan vegetatif tanaman tebu varietas Bululawang terhadap perlakuan biochar tersebut di tanah grumusol.

Karakteristik kimia biochar kulit kakao

Data karakteristik kimia biochar kulit kakao menunjukkan hasil pengujian kimia dari dua sampel biochar dengan kode B3 dan B5. Pengujian meliputi pH, kandungan karbon organik, nitrogen total, serta fosfor (P) dan kalium (K) total dalam biochar. Metode yang digunakan untuk analisis adalah metode Walkley dan Black untuk kandungan karbon organik, metode Kjeldahl untuk nitrogen total, dan penggabuan basah dengan asam HNO₃ dan HClO₄ untuk fosfor dan kalium total, Table data karakteristik kimia biochar kulit kakao dapat di lihat sebagai berikut:

Tabel 1. Karakteristik Biochar Kulit Kakao

Sample	pH	C-Organik (%)		N Total (%)	P Total ppm	K Total ppm
		Kadar C	Kadar BO			
B3	9,24	45,03	77,64	2,28	183,39	641,81
B5	9,19	47,00	81,03	1,11	163,04	569,35

Keterangan: Perlakuan B0 (tanpa biochar), B3 (biochar kulit kakao bersuhu pirolisis 300°C), dan B5 (biochar kulit kakao bersuhu pirolisis 500 °C).

Hasil karakteristik biochar kulit kakao menunjukkan bahwa biochar yang dihasilkan pada suhu pirolisis berbeda memiliki sifat kimia yang berbeda, yang selanjutnya berkaitan dengan respons pertumbuhan vegetatif tanaman tebu varietas Bululawang. Data yang diperoleh menunjukkan bahwa karakteristik kimia biochar kulit kakao bervariasi tergantung pada suhu pirolisis. Berdasarkan Tabel 1, biochar pada suhu 300 °C (B3) memiliki pH 9,24 dengan kadar C-organik 45,03% dan bahan organik (BO) 77,64%, sedangkan pada suhu 500 °C (B5) pH sedikit menurun menjadi 9,19 dengan kadar C-organik meningkat menjadi 47,00% dan BO 81,03%. Kadar nitrogen total (N total) cenderung menurun dengan meningkatnya suhu pirolisis, dari 2,28% pada B3 menjadi 1,11% pada B5, sedangkan unsur fosfor (P total) dan kalium (K total) sedikit menurun pada suhu yang lebih tinggi. Perbedaan ini penting karena literatur menyebut bahwa suhu pirolisis memengaruhi komposisi kimia, kadar volatile matter (VM), fraksi aromatik, dan

sifat fisik seperti porositas serta kapasitas tukar kation (CEC) biochar. Sebagai contoh dalam studi oleh Young *et al.* (2020) menunjukkan bahwa peningkatan suhu pirolisis cenderung meningkatkan karbon stabil tetapi menurunkan fungsi kelompok aktif yang dapat dilepaskan. Dengan demikian, karakteristik biochar pada masing-masing suhu pirolisis berpotensi menghasilkan respon yang berbeda dalam aplikasi sebagai amandemen tanah. Pada tanah grumusol yang sering kali memiliki struktur liat, drainase kurang, dan kesuburan terbatas penggunaan biochar dengan sifat yang sesuai diharapkan dapat memperbaiki kondisi fisik-kimia dan mendukung pertumbuhan vegetatif tanaman tebu.

Pengaruh Perlakuan Terhadap Pertumbuhan Vegetatif Tebu Varietas Bululawang

Tabel 2. Pengaruh Perlakuan terhadap Tinggi Tanaman, Diameter Batang, Jumlah Daun, Jumlah Ruas, Jumlah Anakan, serta Panjang Akar

Perlakuan	Parameter Penelitian					
	Tinggi Tanaman	Diameter Batang	Jumlah Daun	Jumlah Ruas	Jumlah anakan	Panjang Akar
B0	268,75 ^a	2,52 ^a	8,00 ^a	10,00 ^a	2,5 ^a	67,75 ^a
B3	304,50 ^b	2,95 ^b	10,00 ^b	14,25 ^c	4,5 ^b	90,50 ^b
B5	289,75 ^b	2,80 ^b	8,75 ^{ab}	12,25 ^b	3,0 ^a	79,75 ^b

Keterangan: Perlakuan B0 (tanpa biochar), B3 (biochar kulit kakao bersuhu pirolisis 300 °C), dan B5 (biochar kulit kakao bersuhu pirolisis 500 °C). Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada taraf 5% menurut uji BNJ (Tukey's HSD).

Tabel 2. Pengaruh Perlakuan terhadap Berat segar Daun, Berat Segar Batanag, Berat Segar Akar

Perlakuan	Parameter Penelitian		
	Berat Segar		
	Daun	Batang	Akar
B0	185,25 ^a	255,25 ^a	116,75 ^a
B3	261,25 ^c	323,00 ^c	139,00 ^c
B5	220,75 ^b	288,50 ^b	126,75 ^b

Keterangan: Perlakuan B0 (tanpa biochar), B3 (biochar kulit kakao bersuhu pirolisis 300 °C), dan B5 (biochar kulit kakao bersuhu pirolisis 500 °C). Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada taraf 5% menurut uji BNJ (Tukey's HSD).

Pengaruh biochar kulit kakao terhadap pertumbuhan vegetatif tebu varietas Bululawang terdapat pada Tabel 2 dan Tabel 3. Hasil menunjukkan bahwa pengamatan terhadap pertumbuhan vegetatif tebu menunjukkan adanya perbedaan nyata antarperlakuan

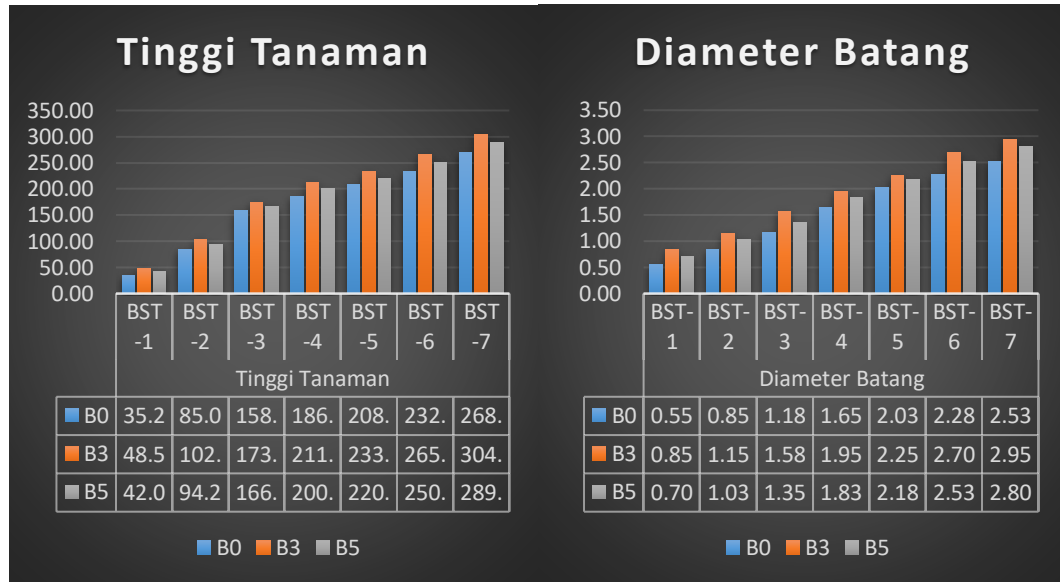
biochar. Perlakuan B3 (biochar 300 °C) memberikan nilai rata - rata tertinggi pada semua parameter pertumbuhan dibanding kontrol (B0) dan perlakuan B5 (biochar 500 °C). Tinggi tanaman pada perlakuan B3 mencapai rata-rata 304,5 cm, meningkat signifikan dibanding kontrol sebesar 268,75 cm. Diameter batang meningkat dari 2,525 cm pada B0 menjadi 2,95 cm pada B3. Parameter jumlah daun, jumlah ruas, jumlah anakan, dan panjang akar juga meningkat nyata pada B3, yang menunjukkan bahwa biochar 300 °C lebih efektif dalam meningkatkan pertumbuhan vegetatif tebu. Fenomena ini menunjukkan bahwa biochar suhu menengah mampu memperbaiki struktur tanah dan meningkatkan aerasi serta ketersediaan hara, yang berpengaruh langsung terhadap pertumbuhan vegetatif tanaman (Zhou et al., 2024). Pada perlakuan B5, meskipun pH dan karbon tetap tinggi, biochar pada suhu ini menjadi lebih inert (kurang reaktif) sehingga pelepasan unsur hara ke dalam tanah lebih lambat dan hasilnya tidak sebaik pada B3.

Selain itu, hasil pengukuran berat segar daun, batang, dan akar juga menunjukkan kecenderungan serupa. Berat segar tertinggi diperoleh pada perlakuan B3 (261,25 g daun; 323 g batang; dan 139 g akar), sedangkan perlakuan B0 menunjukkan berat segar paling rendah. Perbedaan ini secara statistik diuji menggunakan uji BNJ (Tukey's HSD) pada taraf kepercayaan 5 %. Huruf superscript (^a, ^b, ^c) yang tercantum pada tabel menunjukkan hasil uji pembeda antarperlakuan: nilai dengan huruf superscript yang sama berarti tidak berbeda nyata, sedangkan yang berbeda huruf menunjukkan perbedaan signifikan antarperlakuan. Seperti pada tabel ke 2 tersebut, pada parameter tinggi tanaman, B3 dan B5 memiliki huruf superscript ^b, yang berarti keduanya tidak berbeda nyata satu sama lain, tetapi berbeda nyata dengan kontrol B0 yang memiliki huruf ^a. Interpretasi ini penting karena memperjelas bahwa pengaruh biochar suhu 300 °C dan 500 °C terhadap tinggi tanaman relatif setara, tetapi keduanya lebih baik daripada tanpa biochar.

Hasil pada data tersebut mengonfirmasi bahwa biochar kulit kakao dengan suhu pirolisis 300 °C merupakan perlakuan paling efektif dalam meningkatkan pertumbuhan vegetatif tebu varietas Bululawang di tanah grumusol Wedomartani. Hal ini disebabkan oleh sifat kimia dan fisik biochar yang mendukung perbaikan lingkungan tumbuh, meningkatkan ketersediaan unsur hara makro seperti N, P, dan K, memperbaiki pH tanah, serta meningkatkan retensi air dan aerasi tanah. Hasil ini sejalan dengan laporan Tomczyk et al. (2020) yang menyebutkan bahwa biochar suhu menengah cenderung lebih efektif meningkatkan pertumbuhan tanaman dibanding biochar suhu tinggi yang lebih stabil tetapi kurang aktif secara kimia. Penelitian ini tidak hanya menjawab tujuan yang telah

dirumuskan sebelumnya, tetapi juga memberikan kontribusi ilmiah dalam pemanfaatan limbah kulit kakao sebagai bahan amelioran organik berkelanjutan untuk pengelolaan lahan tebu di wilayah tropis.

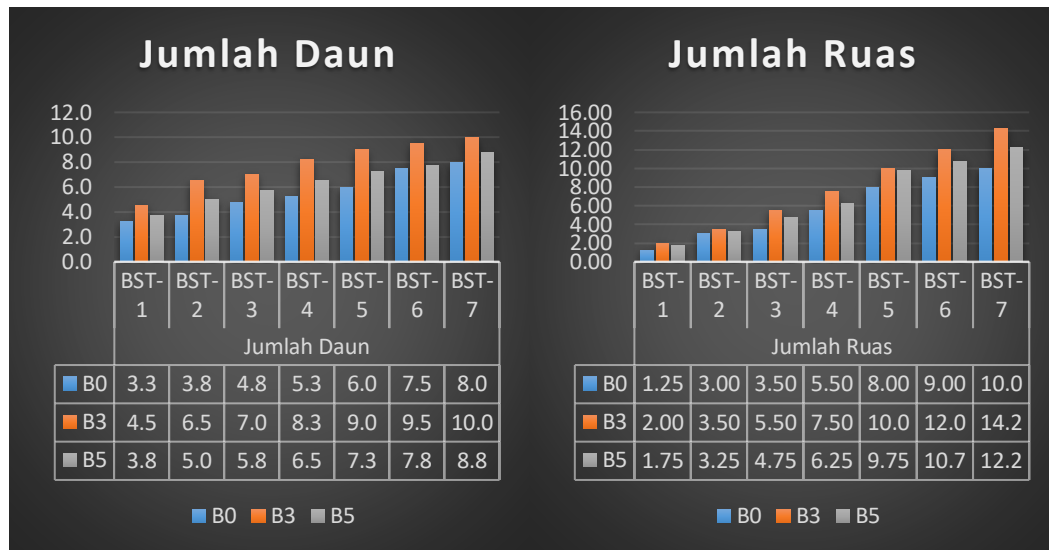
Trend Pertumbuhan Tinggi Tanaman dan Diameter Batang



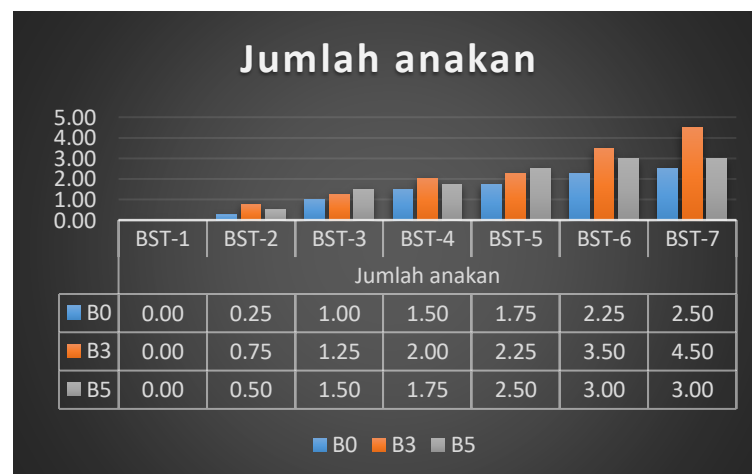
Gambar 1. Grafik Trend Pertumbuhan Tinggi Tanaman dan Diameter Batang

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa tinggi tanaman pada perlakuan B3 meningkat dari 48,5 cm pada BST-1 menjadi 304,5 cm pada BST-7. Sebaliknya, kontrol B0 hanya mencapai 268,75 cm, sedangkan perlakuan B5 mencapai 289,75 cm. Pola pertumbuhan menunjukkan bahwa B3 memiliki laju peningkatan yang lebih cepat mulai dari BST-3 hingga BST-7, menandakan biochar suhu 300 °C mampu meningkatkan ketersediaan unsur hara dan memperbaiki aerasi tanah. Diameter batang juga mengikuti pola yang sama, dengan perlakuan B3 meningkat dari 0,85 cm pada BST-1 menjadi 2,95 cm pada BST-7, lebih besar dibandingkan kontrol 2,525 cm. Hasil ini sejalan dengan temuan Zhou et al. (2024) yang menyatakan bahwa biochar pada suhu menengah (sekitar 300 °C–400 °C) memiliki aktivitas kimia dan porositas optimal untuk memperbaiki sifat tanah dan meningkatkan pertumbuhan batang serta tinggi tanaman jagung di tanah salin. Kondisi ini disebabkan karena biochar suhu menengah masih mempertahankan gugus fungsional aktif yang mampu menjerap dan melepas unsur hara makro (N, P, K) sesuai kebutuhan tanaman (Tomczyk *et al.*, 2020).

Trend Jumlah Daun, Ruas, dan Anakan Tebu Varietas Bululawang



Gambar 2. Grafik Trend Jumlah Daun dan Jumlah Ruas

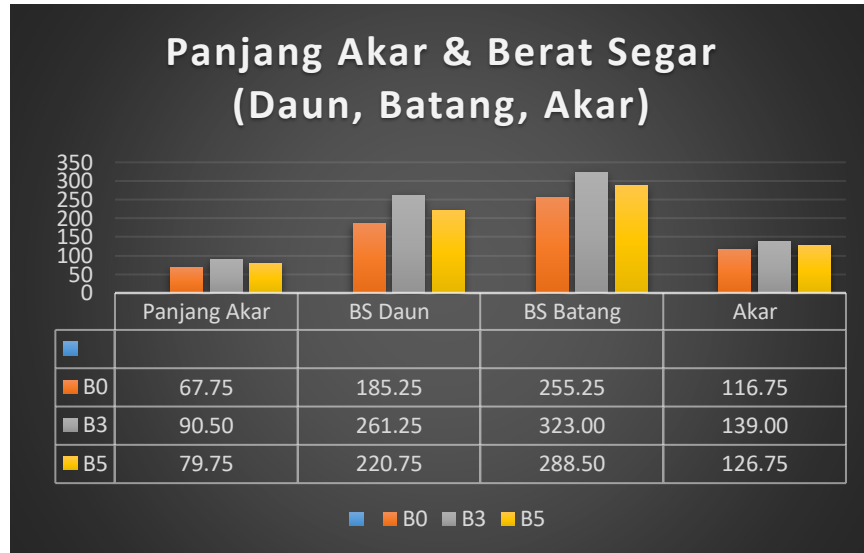


Gambar 3. Grafik Trend Jumlah Anakan

Parameter jumlah daun menunjukkan peningkatan nyata pada perlakuan B3, dari 4,5 helai (BST-1) menjadi 10 helai (BST-7), sedangkan kontrol hanya mencapai 8 helai. Jumlah ruas meningkat signifikan dari 2 menjadi 14,25 pada B3, sedangkan kontrol hanya 10 ruas. Jumlah anakan juga tertinggi pada perlakuan B3 (4,5 anakan) dibandingkan kontrol (2,5 anakan) dan B5 (3 anakan). Pola ini memperlihatkan bahwa biochar 300 °C berperan dalam meningkatkan pertumbuhan vegetatif lateral tanaman, yang sangat penting dalam pembentukan produktivitas tebu. Menurut Roshan et al. (2023), suhu pirolisis menengah meningkatkan kemampuan biochar dalam mempertahankan nitrogen tanah, yang berperan penting bagi pembentukan tunas baru dan pertumbuhan daun. Hasil ini memperkuat anggapan bahwa peningkatan kandungan C-organik dan bahan organik aktif pada biochar

300 °C membantu memperbaiki struktur tanah grumusol, memperbaiki sirkulasi udara, serta meningkatkan aktivitas mikroorganisme yang mendukung pertumbuhan vegetatif tebu.

Panjang Akar dan Berat Segar Tebu Varietas Bululawang



Gambar 4. Grafik Panjang Akar dan Berat Segar Tanaman

Akar tebu menunjukkan pertumbuhan paling panjang pada perlakuan B3 (90,5 cm), diikuti B5 (79,75 cm), dan kontrol (67,75 cm). Akar yang lebih panjang pada B3 menunjukkan bahwa biochar suhu 300 °C meningkatkan daya jangkauan akar terhadap air dan unsur hara di dalam tanah. Sementara itu, berat segar daun, batang, dan akar pada perlakuan B3 masing-masing sebesar 261,25 g, 323 g, dan 139 g, lebih tinggi dibanding B0 (185,25 g, 255,25 g, 116,75 g) dan B5 (220,75 g, 288,5 g, 126,75 g). Hasil ini didukung oleh analisis statistik menggunakan uji BNJ (Tukey's HSD) pada taraf 5 %, di mana perbedaan huruf superscript (^{a,b,c}) pada tabel menunjukkan perbedaan nyata antarperlakuan. Nilai dengan huruf yang berbeda berarti berbeda nyata secara statistik, sedangkan nilai dengan huruf yang sama berarti tidak berbeda signifikan. Misalnya, pada parameter tinggi tanaman, B0 (^a) berbeda nyata dengan B3 dan B5 (^b), menunjukkan bahwa pemberian biochar pada kedua suhu pirolisis meningkatkan tinggi tanaman secara signifikan dibanding kontrol.

Secara keseluruhan, hasil tersebut membuktikan bahwa suhu pirolisis biochar memiliki pengaruh nyata terhadap efektivitasnya dalam memperbaiki pertumbuhan vegetatif tebu varietas Bululawang. Biochar suhu menengah (300 °C) terbukti paling efektif karena memiliki keseimbangan antara kestabilan karbon dan kandungan gugus

fungsional aktif yang mampu meningkatkan ketersediaan unsur hara, memperbaiki pH, serta meningkatkan struktur tanah grumusol yang cenderung padat. Penelitian ini tidak hanya menjawab tujuan penelitian yang telah ditetapkan, tetapi juga memberikan dasar ilmiah bahwa pemanfaatan limbah kulit kakao sebagai biochar dengan suhu pirolisis terkendali dapat menjadi strategi pengelolaan lahan tebu yang berkelanjutan. Dengan adanya hasil ini diharapkan dapat mendukung praktik pertanian sirkular di wilayah agrikultur tropis dan mengurangi ketergantungan terhadap pupuk kimia.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Penelitian mengenai *Efektivitas Biochar Kulit Kakao pada Suhu Pirolisis Berbeda terhadap Pertumbuhan Vegetatif Tebu Varietas Bululawang* memberikan pemahaman mendalam tentang hubungan antar suhu pirolisis biochar dengan respons pertumbuhan vegetatif tanaman tebu. Berdasarkan hasil yang diperoleh, suhu pirolisis biochar terbukti memengaruhi sifat kimia dan biologis bahan tersebut, yang pada gilirannya menentukan efektivitasnya dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman. Biochar yang diproduksi pada suhu 300 °C menunjukkan keseimbangan terbaik antara kandungan karbon organik, pH, dan ketersediaan unsur hara, sehingga memberikan pengaruh paling positif terhadap tinggi tanaman, diameter batang, jumlah daun, jumlah ruas, jumlah anakan, panjang akar, serta berat segar organ tanaman tebu.

Perlakuan biochar suhu 300 °C secara konsisten menghasilkan pertumbuhan vegetatif tertinggi dibanding perlakuan suhu 500 °C dan kontrol tanpa biochar. Hal ini menunjukkan bahwa pada suhu menengah, struktur pori biochar lebih aktif dan mampu memperbaiki aerasi tanah grumusol yang berat serta meningkatkan retensi air dan hara makro. Dengan demikian, hubungan yang ditemukan antara suhu pirolisis biochar kulit kakao dan pertumbuhan vegetatif tebu memperkuat konsep bahwa pengelolaan limbah pertanian dapat diarahkan menjadi strategi peningkatan produktivitas lahan secara berkelanjutan. Secara ilmiah, hasil penelitian ini dapat menjadi dasar dalam pengembangan teknologi ameliorasi tanah berbasis biochar lokal untuk mendukung sistem budidaya tebu berkelanjutan di wilayah Yogyakarta dan daerah tropis lain yang memiliki karakteristik tanah serupa.

Saran

Berdasarkan hasil dan temuan penelitian ini, disarankan agar petani dan praktisi perkebunan tebu di wilayah Yogyakarta mempertimbangkan pemanfaatan biochar kulit

kakao dengan suhu pirolisis sekitar 300 °C sebagai bahan amelioran tanah. Penggunaan biochar jenis ini dapat memperbaiki struktur tanah grumusol, meningkatkan ketersediaan unsur hara, serta mendukung pertumbuhan vegetatif tebu secara optimal. Untuk pengembangan ke depan, diperlukan penelitian lanjutan yang meninjau pengaruh dosis aplikasi biochar, interval pemberian, dan efek jangka panjang terhadap hasil produksi tebu, kualitas nira, serta kesehatan tanah.

Selain itu, dari sisi akademik, hasil ini membuka peluang pengembangan teori baru mengenai interaksi biochar dengan mikroorganisme tanah dan sistem perakaran tanaman tebu pada kondisi edafik yang berbeda. Integrasi biochar dengan praktik pemupukan organik dan sistem pertanian berkelanjutan juga dapat menjadi arah penelitian berikutnya. Dalam konteks praktis, hasil penelitian ini dapat menjadi dasar kebijakan lokal dalam pemanfaatan limbah kulit kakao sebagai sumber bahan bakar dan bahan pembenah tanah, sehingga mendukung ekonomi sirkular dan ketahanan pangan berbasis sumber daya lokal.

DAFTAR PUSTAKA

- Abedini, H., Ozalp, N., & Davis, R. A. (2020). Biochar from cocoa shell pyrolysis: Potential sorbent for CO₂ capture. *Journal of Energy Resources Technology*, 143(2), 1–26.
- Adesina, A. A., Abbey, M. D., Shorinolu, S. I., Yusuf, M. F., & Agbaje, O. R. (2025). A review of the effect of pyrolysis conditions of biochar on plant growth. *Scientia - Technology, Science and Society*, 2(4), 3–27.
- Khater, E. S., Bahnasawy, A., Hamouda, R., Sabahy, A., Abbas, W., & Morsy, O. M. (2024). Biochar production under different pyrolysis temperatures: Physical and chemical properties. *Scientific Reports*. <https://www.nature.com/articles/s41598-024-52336-5>
- Li, X., Liu, H., Liu, N., Sun, Z., Fu, S., Zhan, X., Yang, J., Zhou, R., Zhang, H., Zhang, J., & Han, X. (2023). Pyrolysis temperature had effects on the physicochemical properties of biochar. *Plant, Soil and Environment*, 69(8), 363–373.
- Ouattara, L. Y., Kouassi, E. K. A., Soro, D., Soro, Y., Yao, K. B., Adouby, K., & Drogui, P. (2021). Cocoa pod husks as potential sources of renewable high value added products: A review of current valorizations and future prospects. *Bioresources*, 16(1), 1988–2020.
- Premalatha, R. P., Poorna, J., Nivetha, E., Malarvizhi, P., Manorama, K., Parameswari, E., & Davamani, V. (2023). A review on biochar's effect on soil properties and crop. *Frontiers in Energy Research*. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2023.1092637>
- Roshan, A., Ghosh, D., & Mait, S. K. (2023). How temperature affects biochar properties for application in coal mine spoils? A meta-analysis. *Carbon Research*, 2(3), 1–17.

- Saputra, I., Prijono, S., Soemarno, & Suntari, R. (2024). Application of oil palm and cacao waste biochar to improve chemical properties of an ultisol of Langsa, Aceh. *Journal of Degraded and Mining Lands Management (JDMLM)*, 12(1), 6637–6649.
- Thomas, D., & Zubkov, P. (2023). *Quantitative research designs*. Andrews University.
- 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.
- Zhou, H., Guo, J., Liu, H., Wang, J., & Wang, Y. (2024). Effects of biochar pyrolysis temperature and application rate on saline soil quality and maize yield. *Agronomy*, 14(7), 1529.