

## LAPORAN AKHIR

# ANALISA INDEKS KUALITAS TANAH, PERTUMBUHAN DAN PRODUKTIVITAS TEBU PADA LAHAN BUDIDAYA TEBU VERTISOL MONOKULTUR JANGKA PANJANG AKIBAT PENAMBAHAN BIOCHAR



### TIM Pelaksana:

Ratna Sri Harjanti, S.T., M.Eng	: NIDN. 0020027801
Dr. Anna Kusumawati, S.P., M.Sc	: NIDN. 0505048602
Syamuddin Harahap, S.Tr., M.M.A	: NIDN. 0527049202
Amir Noviyanto, S.P., M.Sc	: NIDN. 0522119501
Retno Muningsih, S.P., M.Sc	: NIDN. 0526037901

**POLITEKNIK LPP YOGYAKARTA**

**2025**

## HALAMAN PENGESAHAN

Judul Penelitian : Analisa Indeks Kualitas Tanah, Pertumbuhan Dan Produktivitas Tebu Pada Lahan Budidaya Tebu Vertisol Monokultur Jangka Panjang Akibat Penambahan Biochar

Nama Ketua Pelaksana : Ratna Sri Harjanti, S.T., M.Eng  
NIDN : 0020027801  
Jabatan Fungsional : Lektor  
Program Studi : Teknologi Rekaya Kimia Industri  
Alamat surel (email) : [rsh@polteklpp.ac.id](mailto:rsh@polteklpp.ac.id)  
Anggota 1

Nama Lengkap : Dr. Anna Kusumawati, S.P., M.Sc  
NIDN : 0505048602  
Jabatan Fungsional : Lektor  
Program Studi : Pengelolaan Perkebunan  
Alamat surel (email) : [mus@polteklpp.ac.id](mailto:mus@polteklpp.ac.id)  
Anggota 2

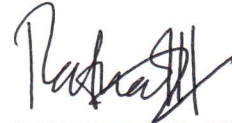
Nama Lengkap : Syamuddin Harahap, S.Tr., M.M.A  
NIDN : 0527049202  
Jabatan Fungsional : Asisten Ahli  
Program Studi : Pengelolaan Perkebunan  
Alamat surel (email) : [smd@polteklpp.ac.id](mailto:smd@polteklpp.ac.id)  
Anggota 3

Nama Lengkap : Amir Noviyanto, S.P., M.Sc  
NIDN : 0522119501  
Jabatan Fungsional : Lektor  
Program Studi : Agroteknologi  
Alamat surel (email) :  
Anggota 4

Nama Lengkap : Retno Muningsih, S.P., M.Sc  
NIDN : 0526037901  
Jabatan Fungsional : Lektor  
Program Studi : Budidaya Tanaman Perkebunan  
Alamat surel (email) : [rtm@polteklpp.ac.id](mailto:rtm@polteklpp.ac.id)  
Biaya Penelitian (Eksternal) : Rp 122.980.000

Yogyakarta, 4 Februari 2026

Ketua Pelaksana,



Ratna Sri Harjanti, S.T., M.Eng.  
NIDN 0020027801



Dr. Anna Kusumawati, S.P., M.Sc.  
NIDN 0505048602



Dr. M. Mustamin, S.T., M.Eng.  
NIDN 0522117601

Pengisian poin C sampai dengan poin H mengikuti template berikut dan tidak dibatasi jumlah kata atau halaman namun disarankan ringkas mungkin. Dilarang menghapus/memodifikasi template ataupun menghapus penjelasan di setiap poin.

**C. HASIL PELAKSANAAN PENELITIAN:** Tuliskan secara ringkas hasil pelaksanaan penelitian yang telah dicapai sesuai tahun pelaksanaan penelitian. Penyajian meliputi data, hasil analisis, dan capaian luaran (wajib dan atau tambahan). Seluruh hasil atau capaian yang dilaporkan harus berkaitan dengan tahapan pelaksanaan penelitian sebagaimana direncanakan pada proposal. Penyajian data dapat berupa gambar, tabel, grafik, dan sejenisnya, serta analisis didukung dengan sumber pustaka primer yang relevan dan terkini.

## A. Biochar

### 1. Pengaruh Suhu Pirolisis

Suhu pirolisis merupakan salah satu parameter utama yang menentukan kualitas biochar, khususnya terhadap kandungan unsur hara seperti karbon (C), nitrogen (N), fosfor (P), Kalium (K), sulfur (S), pH, dan kapasitas tukar kation (KTK). Berikut ini adalah Tabel 1. yang menunjukkan pengaruh suhu terhadap nilai hara yang terkandung pada biochar dari blotong.

Tabel 1. Data Pengaruh Suhu terhadap Kandungan Unsur Hara pada Biochar

SUHU	Kadar air %	kadar abu %	Fixed C %	C%	N %	P %	K %	S %	pH	volatil	KTK
300	2.7888	53.26	12.8486	21.0648	0.9749	3.2036	1.1734	0.6187	6.07	26.494	7.859
	2.8827	57.8685	13.2207	21.2216	0.9796	3.2063	1.043	0.6063	6.05	26.0437	9.8238
350	2.9546	48.12	15.325	23.8376	1.054	3.5943	1.3314	0.7012	6.96	22.3451	11.9362
	2.9654	49.324	16.895	23.5008	1.0636	3.5916	1.3979	0.7137	6.94	22.0678	9.9468
400	3.2544	45.89	18.7377	24.1063	1.1463	3.7745	1.5979	0.811	7.13	19.0335	13.6776
	3.1778	58.9744	18.8679	24.2825	1.1894	3.7665	1.534	0.8228	7.19	18.7686	15.6316
500	3.4551	63.53	25.8683	25.7718	1.215	4.1123	1.7332	0.9086	7.29	9.3781	18.7134
	3.373	61.3031	25.7937	25.5032	1.2744	4.1095	1.7998	0.9086	7.29	9.4246	20.7926

Berdasarkan Tabel 1, terlihat bahwa peningkatan suhu pirolisis dari 300°C hingga 500°C menyebabkan perubahan signifikan terhadap sebagian besar unsur hara yang terkandung dalam biochar. Hasil uji menunjukkan bahwa kadar air biochar menurun dengan peningkatan suhu, penurunan ini mencerminkan efisiensi dehidrasi termal dan kestabilan material yang lebih tinggi. Suhu tinggi mempercepat penghilangan kelembapan bebas dan terikat dalam struktur biomassa (X. Zhang et al., 2022). Kadar abu yang meningkat secara signifikan pada suhu tertinggi yaitu 500°C menunjukkan bahwa proses pirolisis pada suhu tinggi akan mendorong dekomposisi senyawa organik dan pelunakan selulosa, serta memperkuat fraksi anorganik (Song et al., 2024).

Kandungan karbon tetap akan meningkat seiring dengan kenaikan suhu, hal ini berkaitan dengan peningkatan proses karbonisasi dan terbentuknya struktur aromatik stabil (Petersen et al., 2023); (Nan et al., 2021); (Li et al., 2015); (Zhang et al. 2022); (Chen et al., 2016). Kandungan karbon pada suhu 500°C tercatat paling tinggi, hal ini menunjukkan efisiensi dalam konversi biomassa menjadi senyawa aromatis non-volatil (Moradi-Choghamarani et al., 2019); (Stegen & Kaparaju, 2020); (Cheng et al., 2021). Kenaikan karbon tetap ini juga menunjukkan tingkat kematangan aromatik biochar. Karakter ini penting dalam aplikasi sebagai agen penyimpan karbon jangka panjang dan dapat sebagai adsorben polutan organik (Chang and Lee 2024).

Nitrogen dan Sulfur mengalami kenaikan seiring dengan naiknya suhu, namun tidak menunjukkan kenaikan yang signifikan secara statistik. Pernyataan ini tidak sejalan dengan temuan (de Oliveira Paiva et al., 2024) yang menyatakan bahwa kandungan nitrogen akan turun seiring dengan kenaikan suhu dan turun drastis pada suhu 750°C. Hal ini dapat dikaitkan

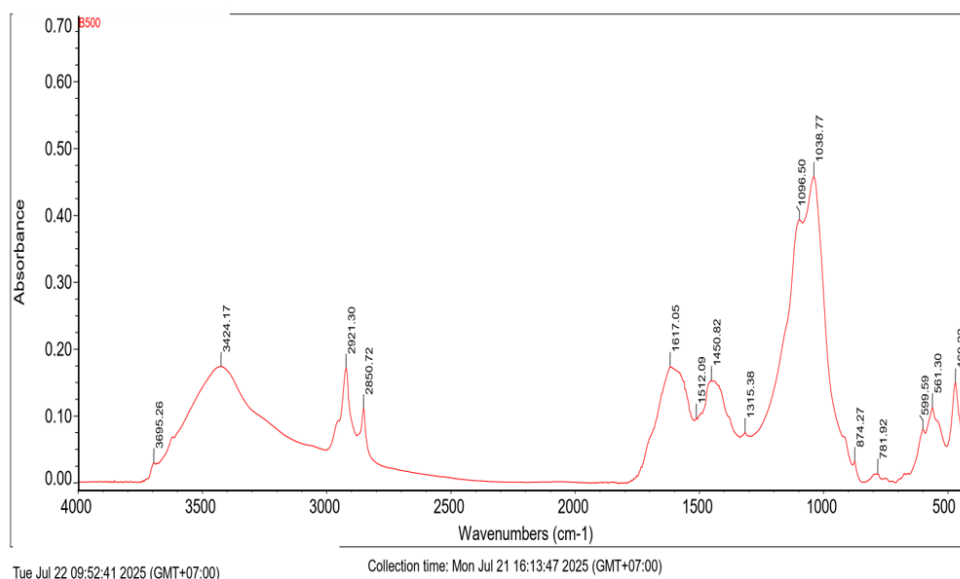
dengan penurunan massa total dan kemungkinan pembentukan senyawa semi aromatik. Pirolisis yang dilakukan pada suhu di bawah 500 °C, cenderung akan menaikkan sulfur walaupun hanya sedikit, namun pirolisis yang dilakukan pada suhu di atas 600 °C akan diperoleh biochar dengan kadar sulfur yang lebih rendah (Al-Wabel et al., 2013); (L. Zhang et al. 2024). Transformasi N dan S sangat tergantung pada jenis biomassa dan komposisi mineralnya.

Fosfor (P) juga meningkat seiring dengan meningkatnya suhu pirolisis, sejalan dengan karakter non-volatil dari P. Kalium (K) juga meningkat, hal ini menunjukkan adanya akumulasi K dalam residu abu. Suwanree et al. (2024) menyimpulkan bahwa kandungan K dalam biochar dari filter cake akan meningkat tajam setelah suhu 450 °C. pH biochar berada di kisaran netral hingga katalis, cocok sebagai amelioran tanah. KTK (Kapasitas Tukar Kation) juga menunjukkan peningkatan pada suhu tinggi, dengan nilai tertinggi pada suhu 500°C, mendukung kapasitas adsorpsi nutrisi dan logam berat (Cabrini et al., 2025). Secara keseluruhan, suhu pirolisis optimal untuk kesetimbangan karakter nutrisi dan karbon ditunjukkan pada rentang 400-500 °C. pada suhu ini biochar memiliki kestabilan karbon yang tinggi, nilai pH alkalis, serta kandungan hara makro (N.P.K) yang memadai, menjadikannya ideal untuk aplikasi pertanian/ perkebunan dan remediasi lingkungan. Berdasarkan hasil analisis sidik ragam (ANOVA) terhadap data pertumbuhan tanaman tebu yang ditampilkan pada Tabel 1, diperoleh hasil uji statistik sebagaimana terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Perhitungan ANOVA terhadap Data Pengaruh Suhu Pirolisis

ANOVA						
<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Sample	63.22230494	3	21.0741	8.503511	0.000144	2.816466
Columns	20589.82082	10	2058.982	830.8101	1.1E-46	2.053901
Interaction	790.2615288	30	26.34205	10.62916	4.7E-12	1.718354
Within	109.0444231	44	2.478282			
Total	21552.34908	87				

Tabel 2 menunjukkan bahwa semua parameter, kecuali hara fosfor, mengalami perubahan signifikan akibat adanya variasi suhu dengan nilai  $p < 0,05$ . Hasil ANOVA ini memperkuat pernyataan bahwa suhu berpengaruh terhadap proses pembuatan biochar dari biomassa blotong, baik untuk kebutuhan aplikasi pertanian maupun remediasi lingkungan. Adapun hasil analisis FTIR dari sampel biochar blotong pada suhu 500 °C dapat dilihat pada Gambar 1.



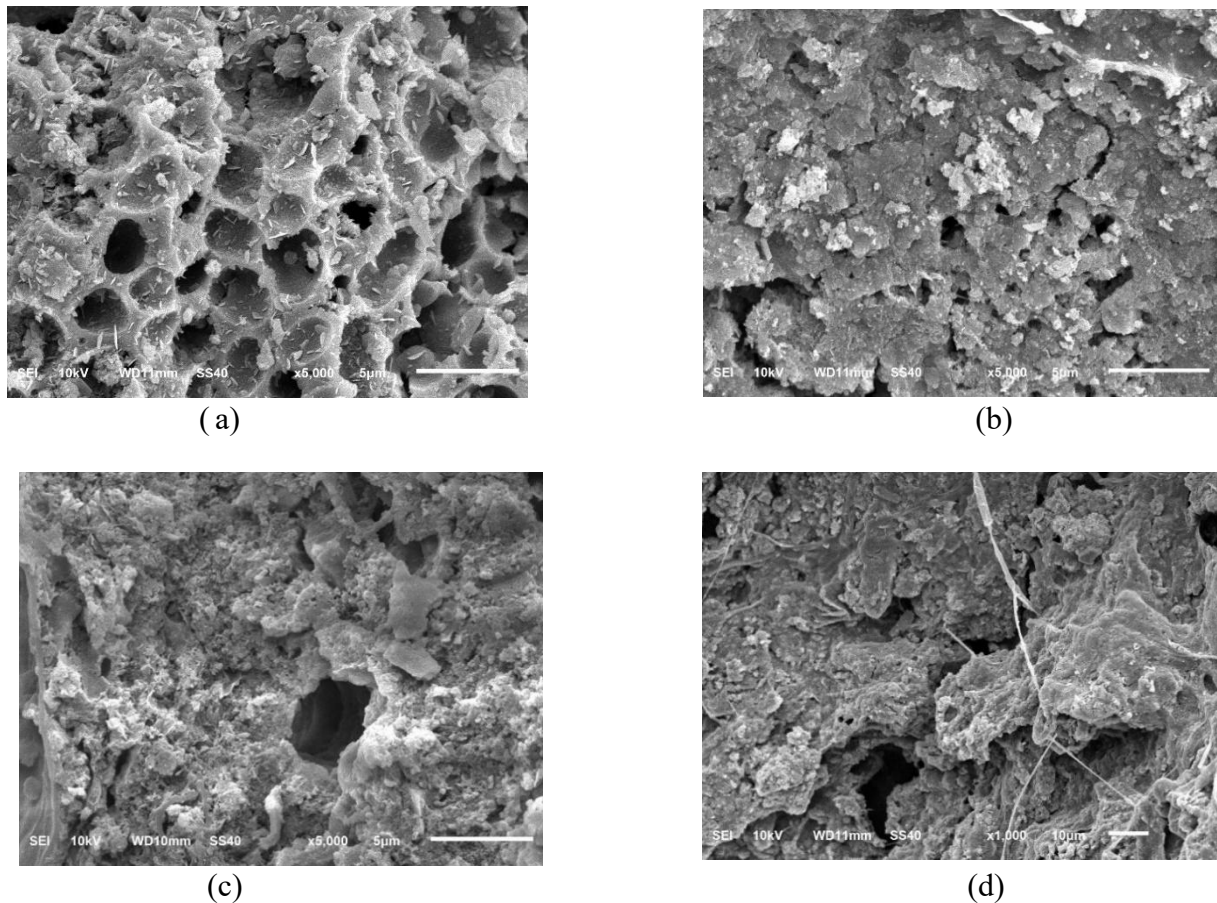
Gambar 1. Grafik Hasil Analisis FTIR pada Sampel Biochar pada Suhu 500 °C

Spektrum FTIR sampel biochar pada suhu 500 °C memperlihatkan sejumlah pita serapan yang mengindikasikan keberadaan komponen anorganik dan organik dalam sampel. Pita serapan dominan terletak pada 1038.77 cm<sup>-1</sup> (0.457) dan 1096.50 cm<sup>-1</sup> (0.393), yang merepresentasikan regangan asimetris Si–O–Si khas silika atau kuarsa. Kehadiran kedua pita ini diperkuat oleh pita serapan frekuensi rendah pada 469.22 cm<sup>-1</sup> (0.149), 561.30 cm<sup>-1</sup> (0.111), dan 599.59 cm<sup>-1</sup> (0.0787), yang merupakan getaran kisi silikat. Selain itu, pita tambahan pada 781.92 cm<sup>-1</sup> (0.0133) dan 874.27 cm<sup>-1</sup> (0.0316) dapat dikaitkan dengan mode minor silikat maupun vibrasi karbonat, sehingga menunjukkan adanya kemungkinan pengotor mineral sekunder. Dengan demikian, pita-pita ini secara konsisten menegaskan bahwa silika/kuarsa merupakan komponen anorganik utama dalam sampel.

Di sisi lain, spektrum juga menunjukkan pita serapan yang mengindikasikan kontribusi material organik. Pita pada 1450.82 cm<sup>-1</sup> (0.152) berkaitan dengan tekukan CH<sub>2</sub>/CH<sub>3</sub> alifatik, sedangkan pita pada 1512.09 cm<sup>-1</sup> (0.0962) dan 1617.05 cm<sup>-1</sup> (0.174) mengarah pada regangan C=C aromatik atau terkonjugasi, yang biasanya dijumpai pada senyawa aromatik seperti lignin atau humat. Regangan C–H alifatik tampak jelas pada 2850.72 cm<sup>-1</sup> (0.110) dan 2921.30 cm<sup>-1</sup> (0.171), menunjukkan keberadaan gugus metil atau metilen dari senyawa organik. Selain itu, pita serapan pada 3424.17 cm<sup>-1</sup> (0.174) merepresentasikan regangan O–H berikatan hidrogen, yang dapat berasal dari air teradsorpsi, gugus hidroksil polisakarida, atau fenolik. Puncak kecil pada 3695.26 cm<sup>-1</sup> (0.0289) menandakan regangan O–H bebas yang sering dikaitkan dengan gugus silanol (Si–OH) pada permukaan silika.

Pola spektral tersebut menunjukkan bahwa sampel kemungkinan besar merupakan campuran silika/kuarsa sebagai komponen anorganik dominan, dengan kontribusi material organik berupa polisakarida (misalnya selulosa) atau senyawa aromatik (lignin/humat). Kehadiran pita karbonat pada 874 cm<sup>-1</sup> juga menunjukkan adanya mineral sekunder dalam jumlah kecil. Hasil analisis FTIR pada biochar menunjukkan pita serapan khas untuk gugus Si–O dan Si–O–Si yang mengindikasikan keberadaan kuarsa atau silika. Keberadaan senyawa silika ini memberikan dasar ilmiah yang kuat untuk mendukung aplikasi biochar berbahan biomassa limbah blotong sebagai amelioran tanah, terutama dalam meningkatkan sifat fisik dan kimia tanah. Silika dalam biochar berperan penting dalam meningkatkan kapasitas tukar kation (KTK) tanah, memperbaiki struktur agregat tanah, serta meningkatkan retensi air dan ketersediaan hara bagi tanaman (Xu et al., 2025). Selain itu, silika mampu menstabilkan unsur

hara penting dan logam berat dalam tanah melalui proses adsorpsi dan presipitasi, sehingga mencegah kehilangan nutrisi dan meningkatkan kesehatan tanah secara keseluruhan (Huang & Imran, 2025). Biochar yang mengandung silika juga meningkatkan pH tanah asam dan memperkuat buffering capacity tanah, sehingga sangat bermanfaat pada lahan-lahan marginal atau terdegradasi. Studi terbaru menunjukkan bahwa aplikasi biochar berbasis biomassa silikat secara signifikan dapat memperbaiki keseimbangan nutrisi dan aktivitas mikroba tanah, serta mendukung pertumbuhan tanaman dalam sistem pertanian berkelanjutan (L. Zhang et al., 2025). Morfologi biochar hasil proses pirolisis blotong dianalisis menggunakan uji Scanning Electron Microscope (SEM). Hasil pengamatan morfologi tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.



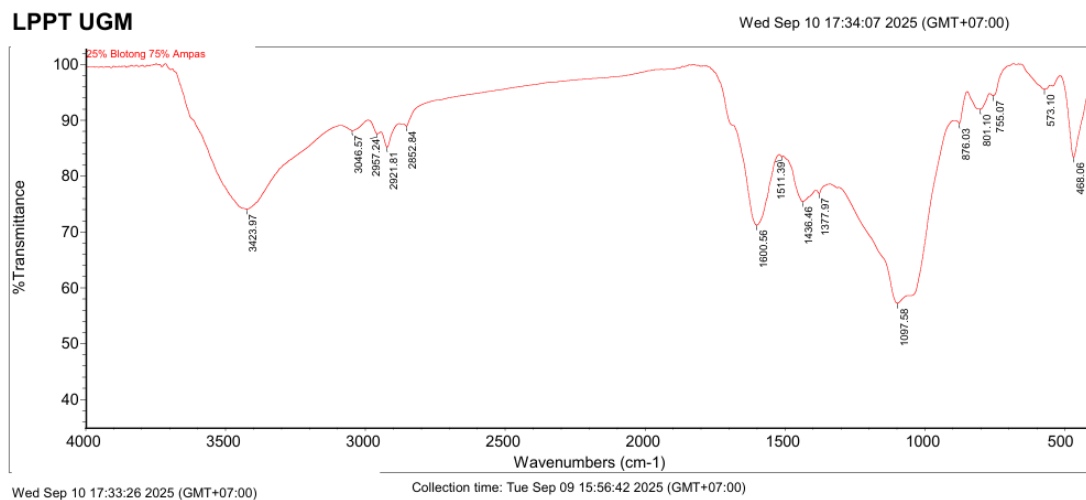
Gambar 2. Grafik Hasil Analisis SEM pada Sampel Biochar dengan Variasi Suhu Pirolisis (a) 300°C (b) 350°C (c) 400°C (d) 500°C

Analisis SEM pada sampel biochar hasil pirolisis suhu 300 oC menunjukkan struktur berpori tinggi dengan rongga 1-3 μm, permukaan kasar, dan keberadaan partikel krintalin berbentuk jarum. Morfologi menyerupai busa ini sangat cocok untuk meningkatkan luas permukaan spesifik, serta menyediakan banyak situs aktif untuk penjerapan nutrisi dan logam berat di tanah. Struktur tersebut juga memperkuat fungsi biochar dalam meningkatkan kapasitas tukar kation (KTK) dan retensi air (J. Zhang et al., 2025); dan (X. Zhang et al. 2022). Morfologi biochar hasil pirolisis dari suhu 350 oC menunjukkan struktur yang lebih padat dan berlapis, dengan pori submikron yang tersebar tidak merata. Walau porositas menurun, struktur ini memberikan keuntungan dalam stabilitas fisik di dalam tanah, serta mengurangi pelindian unsur hara akibat mobilitas air yang lebih terkendali. Struktur ini cocok untuk aplikasi jangka panjang di tanah berpasir atau berstruktur lemah (J. Zhang et al., 2025); (Abolodje et al., 2024).

Morfologi biochar pada suhu 400 °C memperlihatkan pori besar (2-4 μm), dinding kasar, dan partikel tidak homogen. Hal ini menunjukkan peningkatan signifikan pada luas permukaan dan potensi adsorpsi molekul besar, menjadikannya ideal sebagai agen pembawa mikroba tanah, serta meningkatkan interaksi biofisik antara biochar dan akar tanaman. Namun sifat mekaniknya menurun, menandakan biochar ini lebih cocok untuk fungsi biologis daripada struktural. Biochar pada suhu pirolisis 500 oC menunjukkan struktur lapisan padat dengan rongga besar (5-10 μm), permukaan tidak rata, dan tampak adanya filamen halus sebagai indikasi sisa bahan organik. Morfologi ini mengarah pada stabilitas karbon tinggi dan ketahanan jangka panjang di tanah. Cocok digunakan pada lahan marginal karena meskipun kapasitas adsorpsi menurun, biochar yang dihasilkan pada pirolisis suhu 500 °C memiliki stabilitas kimia tinggi dapat membantu dalam pengendalian emisi gas rumah kaca dan retensi karbon (Shen et al., 2024).

## 2. Pengaruh komposisi blotong dan ampas tebu

Pengaruh komposisi blotong dan ampas tebu dipelajari menggunakan hasil pembacaan analisis FTIR untuk mengetahui unsur apakah yang terdapat dalam kombinasi tersebut. Gambar 3. menunjukkan hasil analisis FTIR terhadap sampel dengan komposisi 25% blotong dan 75% ampas tebu.



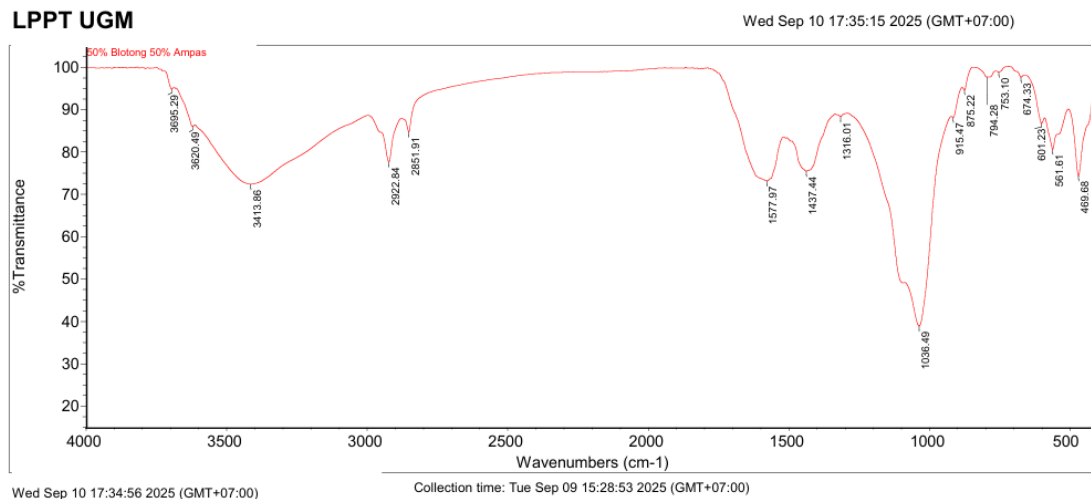
Gambar 3. Grafik Hasil Analisis Sampel Biochar pada Komposisi 25% blotong dan 75% ampas tebu

Spektrum FTIR sampel 25% Blotong : 75% Ampas memperlihatkan kombinasi fitur yang konsisten dengan material biomassa (polisakarida dan lignin) yang mengandung sejumlah fase anorganik/pengotor. Daftar puncak utama yang terdeteksi adalah 468.06, 573.10, 755.07, 801.10, 876.03, 1097.58, 1377.97, 1436.46, 1511.39, 1600.56, 2852.84, 2921.81, 2957.24, 3046.57, dan 3423.97 cm<sup>-1</sup>. Beberapa pita serapan memberikan bukti kuat mengenai sifat organik sampel. Pita lebar pada ~3424 cm<sup>-1</sup> menunjukkan regangan O–H berikatan hidrogen, yang umum pada air teradsorpsi dan gugus hidroksil polisakarida (mis. selulosa/heksosan). Regangan C–H alifatik terlihat pada 2853, 2922, dan 2957 cm<sup>-1</sup>, sementara pita pada 3046 cm<sup>-1</sup> mungkin terkait dengan regangan =C–H aromatik atau kontribusi dari gugus aromatik terkonjugasi. Tekukan CH<sub>2</sub>/CH<sub>3</sub> pada 1436 cm<sup>-1</sup> dan sinyal pada 1378 cm<sup>-1</sup> menguatkan keberadaan rantai alifatik serta gugus metil/metilen dalam komponen organik. Sinyal pada 1511 dan 1600 cm<sup>-1</sup> sangat khas untuk regangan C=C aromatik/terkonjugasi, sehingga menunjukkan kontribusi fraksi aromatik seperti lignin atau materi humik pada ampas. Secara keseluruhan, region 3000–1400 cm<sup>-1</sup> mendukung interpretasi bahwa kandungan organik dominan adalah polisakarida dengan komponen aromatik yang khas biomassa.

Di samping itu, terdapat beberapa pita pada wilayah 400–900  $\text{cm}^{-1}$  dan pita di  $\sim 1100 \text{ cm}^{-1}$  yang menandakan keberadaan fase anorganik atau mode rangka yang lebih berat. Pita pada 1097.58  $\text{cm}^{-1}$  dapat merepresentasikan regangan C–O / C–O–C pada polisakarida, seperti C–O selulosa atau hemiselulosa; namun, rentang  $\sim 1000\text{--}1100 \text{ cm}^{-1}$  sering tumpang-tindih dengan regangan Si–O–Si jika silika hadir. Puncak pada 468.06  $\text{cm}^{-1}$  dan pada kisaran  $\sim 573\text{--}801 \text{ cm}^{-1}$  (573.10, 755.07, 801.10, 876.03  $\text{cm}^{-1}$ ) dapat menunjukkan mode kisi silikat/oksida atau out-of-plane C–H aromatik (bergantung konteks). Intensitas relatif puncak-puncak ini pada laporan (nilai intensitas yang diberikan oleh perangkat lunak) menunjukkan fitur yang menonjol secara relatif di spektrum; catatan: file menyajikan spektrum dalam bentuk %Transmittance sehingga angka intensitas pada daftar puncak tersebut mencerminkan level transmittance/kontras puncak menurut pengaturan perangkat lunak pemroses.

Berdasarkan kumpulan fitur tersebut, tiga hipotesis komposisi yang paling masuk akal adalah: (1) ampas biomassa dominan (selulosa + lignin)—bukti kuat dari pita O–H, C–H alifatik, dan pita aromatik; (2) ampas/biomassa bercampur dengan abu mineral/silika (kontaminasi atau abu dari proses)—didukung oleh puncak rendah di 468  $\text{cm}^{-1}$  dan pita di wilayah 700–900  $\text{cm}^{-1}$  serta kemungkinan kontribusi Si–O di  $\sim 1098 \text{ cm}^{-1}$ ; atau (3) material komposit/produk olahan (mis. pencampuran biomassa dengan filler anorganik)—secara spektral mungkin tetapi membutuhkan bukti kontekstual. Tingkat keyakinan untuk hipotesis pertama (biomassa: selulosa + lignin) adalah tinggi; untuk keberadaan silika/mineral, tingkat keyakinan sedang karena beberapa pita dapat dijelaskan juga oleh mode organik (tumpang tindih).

Gambar 4 menunjukkan hasil analisis FTIR terhadap sampel dengan komposisi 50% blotong dan 50% ampas tebu menunjukkan bahwa adanya pola yang konsisten dengan materi biomassa (polisakarida dan fraksi aromatik) yang bercampur dengan fitur-fitur anorganik atau mode rangka berat. Daftar puncak utama yang terdeteksi adalah 469.68, 561.61, 601.23, 674.33, 753.10, 794.28, 875.22, 915.47, 1036.49, 1316.01, 1437.44, 1577.97, 2851.91, 2922.84, 3413.86, 3620.49, dan 3695.29  $\text{cm}^{-1}$ .



Gambar 4. Grafik Hasil Analisis Sampel Biochar pada Komposisi 50% blotong dan 50% ampas tebu

Beberapa pita serapan memberikan bukti kuat mengenai komponen organik. Pita lebar pada 3413.86  $\text{cm}^{-1}$  (Int. 72.353) menunjukkan regangan O–H berikatan hidrogen, tipikal untuk air teradsorpsi dan gugus hidroksil polisakarida (misal selulosa). Pita pada 2851.91  $\text{cm}^{-1}$  (Int. 84.730) dan 2922.84  $\text{cm}^{-1}$  (Int. 77.669) mengindikasikan regangan simetris dan asimetris C–H

alifatik ( $\text{CH}_2/\text{CH}_3$ ), yang umum pada komponen organik. Sinyal pada  $1577.97\text{ cm}^{-1}$  (Int. 73.129) menunjukkan regangan  $\text{C}=\text{C}$  aromatik terkonjugasi atau kontribusi dari gugus aromatik (lignin/humat), sedangkan tekukan  $\text{CH}$  pada  $1437.44\text{ cm}^{-1}$  (Int. 75.473) dan fitur pada  $1316.01\text{ cm}^{-1}$  (Int. 88.325) mendukung keberadaan struktur karbon-hidrogen serta gugus  $\text{C}-\text{O}$  yang berasal dari polisakarida. Kehadiran pita pada rentang  $3000-1400\text{ cm}^{-1}$  secara keseluruhan memperkuat interpretasi bahwa komponen organik dominan adalah polisakarida beserta fraksi aromatik khas biomassa.

Di samping itu, spektrum memperlihatkan sejumlah pita di wilayah frekuensi rendah hingga menengah yang mengindikasikan adanya fase anorganik atau mode rangka berat. Pita pada  $1036.49\text{ cm}^{-1}$  (Int. 38.873) dapat merepresentasikan regangan  $\text{C}-\text{O} / \text{C}-\text{O}-\text{C}$  pada polisakarida; namun, rentang  $\sim 1000-1100\text{ cm}^{-1}$  sering tumpang-tindih dengan regangan  $\text{Si}-\text{O}-\text{Si}$  jika silika juga hadir. Pita frekuensi rendah pada  $469.68\text{ cm}^{-1}$  (Int. 74.299),  $561.61\text{ cm}^{-1}$  (Int. 80.606), dan  $601.23\text{ cm}^{-1}$  (Int. 86.709) merupakan karakteristik yang sering dikaitkan dengan getaran kisi silikat/oksida (mis.  $\text{Si}-\text{O}$  bending atau mode kisi lain). Selain itu, munculnya pita pada  $753.10$ ,  $794.28$ ,  $875.22$ , dan  $915.47\text{ cm}^{-1}$  (Intensitas 97-99 untuk beberapa puncak) menunjukkan mode out-of-plane  $\text{C}-\text{H}$  aromatik atau fitur silikat/adanya mineral sekunder; khususnya intensitas kuat di wilayah  $670-920\text{ cm}^{-1}$  menandakan kontribusi struktur non-organik atau poli-vibrasi kompleks dalam sampel.

Berdasarkan pola-pola tersebut, interpretasi yang paling masuk akal adalah bahwa sampel 50% Blotong : 50% Ampas merupakan campuran dominan biomassa (selulosa/hemiselulosa dan fraksi aromatik seperti lignin) yang mengandung sejumlah fase anorganik atau abu mineral—kemungkinan berupa silika/oksida atau mineral sekunder (ditunjukkan oleh puncak rendah  $469 \pm$  dan pita  $700-920\text{ cm}^{-1}$ ), serta potensi kontribusi karbonat kecil. Tingkat keyakinan untuk hipotesis biomassa (polisakarida + lignin) adalah tinggi, sedangkan keyakinan untuk keberadaan silika/mineral adalah sedang karena beberapa pita di rentang  $1000-1100\text{ cm}^{-1}$  dan bawah  $700\text{ cm}^{-1}$  dapat tumpang tindih dengan mode organik.

Gambar 5 menunjukkan hasil analisis FTIR terhadap sampel dengan komposisi 75% blotong dan 25% ampas tebu memperlihatkan pola yang merepresentasikan dominasi komponen biomassa, terutama polisakarida dan fraksi aromatik, yang juga bercampur dengan fase anorganik atau abu mineral. Sejumlah pita serapan muncul jelas pada wilayah frekuensi rendah, yaitu  $469.87$ ,  $562.11$ , dan  $599.78\text{ cm}^{-1}$ , yang dapat dihubungkan dengan getaran kisi silikat. Selain itu, pita kuat pada  $675.10$  dan  $795.05\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan kontribusi regangan simetris  $\text{Si}-\text{O}$  khas kuarsa atau mode out-of-plane  $\text{C}-\text{H}$  aromatik. Pita pada  $874.69\text{ cm}^{-1}$  kemungkinan berkaitan dengan getaran  $\text{C}-\text{O}$  dari karbonat atau kombinasi mode silikat. Pada pita  $1035.83$  dan  $1098.74\text{ cm}^{-1}$ , tampak regangan asimetris  $\text{Si}-\text{O}-\text{Si}$  yang merupakan sidik jari silika, meskipun area ini juga dapat tumpang tindih dengan regangan  $\text{C}-\text{O}$  atau  $\text{C}-\text{O}-\text{C}$  dari polisakarida.



B	6,15 a	0, 0015 a	4,41 0 b	0, 011 b	2,20 a	1,71 a	26,0 3 b	23,5 0 b	5,48 a	39,16 b	54,7 9 b	35,94 a	9,25 b
Pval	0.49 6 <sup>tn</sup>	0.008 **	0.03 3**	<0,00 01**	0, 011*	0,29 7 <sup>tn</sup>	0,00 1**	0,05 **	0,004* *	<0,00 01**	0,05 **	0.467 <sup>tn</sup>	0,04 4**

Keterangan : K : kontrol, B : biochar . \*\*: menunjukkan adanya signifikansi antar perlakuan; tn : menunjukkan tidak adanya signifikansi antar perlakuan. Angka yang diikuti oleh huruf yang berbeda pada kolom yang sama menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan berdasarkan uji-t pada taraf kepercayaan 95% ( $p < 0.05$ ).

Hasil uji-t menunjukkan bahwa aplikasi biochar memberikan pengaruh yang bervariasi terhadap sifat kimia dan fisika tanah yang diamati. Nilai pH tanah pada perlakuan kontrol (6,11) dan biochar (6,15) tidak menunjukkan perbedaan yang nyata ( $p = 0,496$ ), mengindikasikan bahwa biochar yang digunakan tidak memiliki kapasitas pengapuran yang cukup kuat untuk mengubah kemasaman tanah secara signifikan. Kondisi ini sejalan dengan temuan Sika dan Hardie (2014) yang menyatakan bahwa biochar hanya meningkatkan pH tanah apabila memiliki kandungan basa yang tinggi. Berbeda dengan pH, kandungan nitrogen total justru menurun secara signifikan pada perlakuan biochar dari 0,0017% menjadi 0,0015% ( $p = 0,008$ ). Penurunan ini dapat disebabkan oleh imobilisasi nitrogen oleh mikroorganisme akibat peningkatan ketersediaan karbon atau adsorpsi amonium pada permukaan biochar yang berpori, sebagaimana dijelaskan oleh Nguyen et al. (2017).

Sebaliknya, biochar memberikan peningkatan positif pada indikator C-organik. Nilai C-organik meningkat signifikan dari 4,096% menjadi 4,410% ( $p = 0,033$ ), yang menunjukkan bahwa biochar berfungsi sebagai sumber karbon stabil yang mampu meningkatkan cadangan karbon tanah. Hal ini sesuai dengan Lehmann dan Joseph (2015) yang menyatakan bahwa biochar mengandung karbon aromatik yang tahan dekomposisi sehingga meningkatkan C-organik secara berkelanjutan. Peningkatan juga terjadi pada fosfor total (P-total), yang naik signifikan dari 0,008% menjadi 0,011% ( $p < 0,0001$ ). Hasil ini menunjukkan bahwa biochar dapat menjadi sumber fosfor sekaligus memperbaiki dinamika adsorpsi P dalam tanah, sebagaimana dilaporkan oleh Glaser et al. (2002) yang menemukan bahwa biochar dapat meningkatkan ketersediaan P pada tanah tropis.

Dari aspek fisik, biochar menurunkan berat jenis tanah (BJ) secara signifikan dari 2,26 menjadi 2,20 ( $p = 0,011$ ). Penurunan ini terkait dengan sifat biochar yang berpori dan berdensitas rendah sehingga ketika tercampur dengan tanah dapat memperbaiki struktur tanah melalui peningkatan porositas total. Temuan ini sejalan dengan Downie et al. (2012) yang

menyatakan bahwa biochar dapat menurunkan densitas tanah dan meningkatkan aerasi. Berat volume tanah (BV) menurun dari 1,81 menjadi 1,71, meskipun tidak signifikan ( $p = 0,297$ ). Ketidaksignifikanan ini kemungkinan disebabkan oleh jangka waktu aplikasi yang belum cukup panjang atau variasi struktur mikro tanah yang belum homogen. Selain itu, fraksi pasir dan fraksi debu menunjukkan perbedaan signifikan dengan nilai  $p = 0,05$  dan  $p = 0,044$ , yang mengindikasikan adanya perubahan komposisi tekstur tanah akibat penambahan partikel halus dari biochar. Sementara itu, fraksi lempung tidak berbeda nyata ( $p = 0,467$ ), menunjukkan bahwa biochar tidak memengaruhi fraksi tanah yang lebih stabil ini.

Secara umum, hasil uji-t memperlihatkan bahwa biochar memberikan dampak positif pada berbagai parameter kualitas tanah, terutama yang terkait dengan peningkatan C-organik, ketersediaan fosfor, dan perbaikan beberapa sifat fisik. Pengaruh-pengaruh ini menunjukkan bahwa biochar memiliki potensi besar sebagai amelioran untuk meningkatkan kesuburan dan kualitas tanah secara berkelanjutan.

## Indeks Kualitas Tanah

Tabel. Hasil *Principle component analysis* (PCA)

Parameter PCA	PC 1	PC 2
<i>Eigenvalue</i>	10.259	1.855
<i>Variance (%)</i>	78.913	14.272
<i>Cumulative (%)</i>	78.913	93.185
Indikator	<i>Eigenvectors</i>	
pH H <sub>2</sub> O	0.6522042	<b>0.6118054</b>
N-total	-0.8672765	0.4062956
C-organik	<b>0.9819456</b>	0.1839027
P-total	0.9359837	-0.351874
BJ	-0.8645446	0.4288965
BV	-0.7844491	-0.597254
P-tersedia	<b>0.9460525</b>	-0.272204
Nitrat	<b>0.969474</b>	0.2076206
Ammonium	<b>-0.9990926</b>	0.0425493
C-mineralisasi	0.9240341	-0.381651
Pasir	-0.9523275	0.0740563
Lempung	-0.5795042	-0.549482
Debu	<b>0.9738475</b>	0.2134865

Keterangan: BJ – Berat Jenis; BV – Berat Volume; Angka yang dicetak tebal menunjukkan indikator yang memiliki faktor beban tinggi; angka yang dicetak tebal dan digarisbawahi menunjukkan indikator yang dipilih.

Analisis PCA menunjukkan bahwa dua komponen utama (PC1 dan PC2) mampu menjelaskan **93,19%** variasi total data. Komponen utama pertama (PC1) menjelaskan **78,91%** variasi, mencerminkan dominasi pengaruh variabel-variabel kimia yang berkaitan dengan

dinamika hara dan karbon tanah. Parameter dengan kontribusi terbesar pada PC1 antara lain C-organik, nitrat, P-tersedia, P-total, C-mineralisasi, dan fraksi debu. Parameter ammonium memiliki beban negatif terbesar, menunjukkan hubungan terbalik dengan indikator-indikator tersebut.

Parameter-parameter dengan faktor beban tinggi dipilih sebagai Minimum Data Set (MDS), yaitu **pH H<sub>2</sub>O, C-organik, P-tersedia, nitrat, ammonium, dan debu**. Pemilihan indikator ini mengikuti metode yang dikembangkan oleh Andrews et al. (2002), di mana indikator dipilih berdasarkan beban faktor tinggi, keterwakilan proses ekosistem tanah, serta minimnya redundansi antarindikator. Indikator MDS ini dianggap paling sensitif dan representatif dalam menggambarkan perubahan kualitas tanah pada sistem yang diteliti.

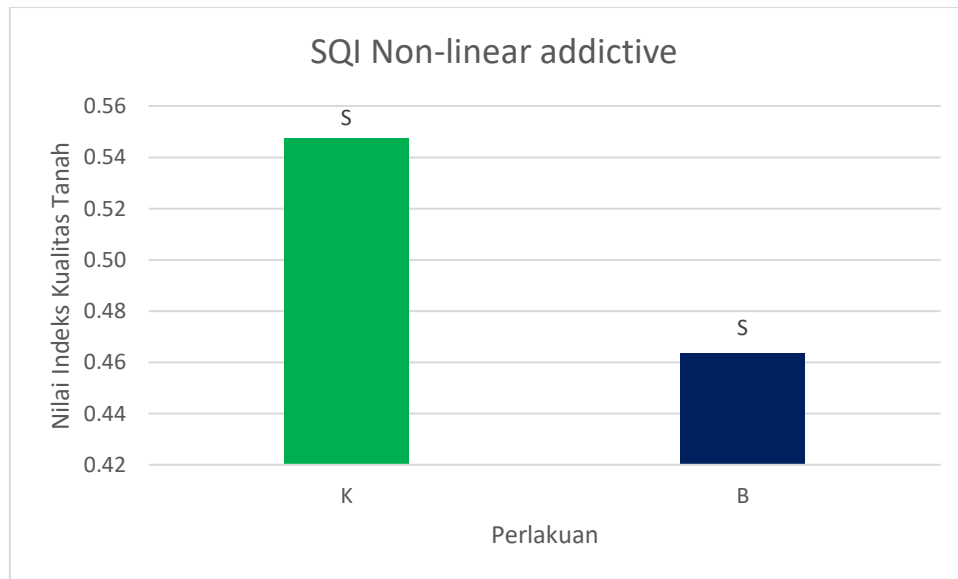
Tabel. Jenis kurva skor, parameter persamaan non-linier dan linier, serta hasil yang dibobot dari parameter yang dipilih (MDS)

Parameter	Scoring curve	Non-linear		Linear		Bobot
		Mean ( <i>xo</i> )	Slope ( <i>b</i> )	<i>h</i>	<i>i</i>	
pH H <sub>2</sub> O	Optimum	6.125	2.5	6.15	6.10	0.153
C-organik (%)	More is better	4.254	-2.5	4.41	4.10	0.847
P-tersedia (ppm)	Optimum	19.412	2.5	26.03	12.79	0.847
Nitrat (ppm)	More is better	22.447	-2.5	23.51	21.39	0.847
Ammonium (ppm)	More is better	5.831	-2.5	6.18	5.48	0.847
Debu (%)	Optimum	8.476	2.5	9.26	7.69	0.847

Keterangan: *i*: nilai terendah, *h*: nilai tertinggi

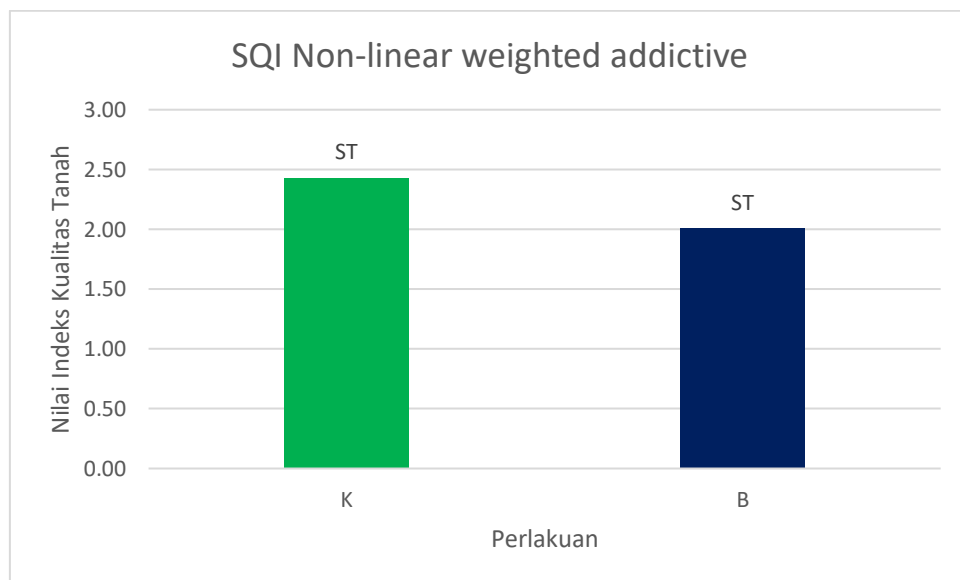
Kurva nonlinier digunakan untuk menggambarkan respon ekologis yang tidak bersifat linear terhadap perubahan nilai indikator. Parameter seperti pH dan P-tersedia memiliki pola optimum, di mana nilai terbaik terjadi pada rentang tertentu. Sementara itu, parameter seperti C-organik, nitrat, ammonium, dan debu mengikuti pola “semakin tinggi semakin baik”. Model nonlinier ini memberikan sensitivitas lebih tinggi pada nilai indikator yang mendekati atau melewati ambang batas optimum, sehingga lebih akurat dalam menangkap respon alami tanah.

Model linier mengasumsikan bahwa peningkatan nilai indikator secara langsung meningkatkan kualitas tanah. Meskipun lebih sederhana, model ini kurang sensitif terhadap parameter yang memiliki hubungan kurvatif terhadap fungsi tanah. Oleh karena itu, hasil IKT model linier cenderung menghasilkan perbedaan yang lebih kecil dibandingkan model nonlinier.



Gambar 1. IKT *Non-linear addictive*

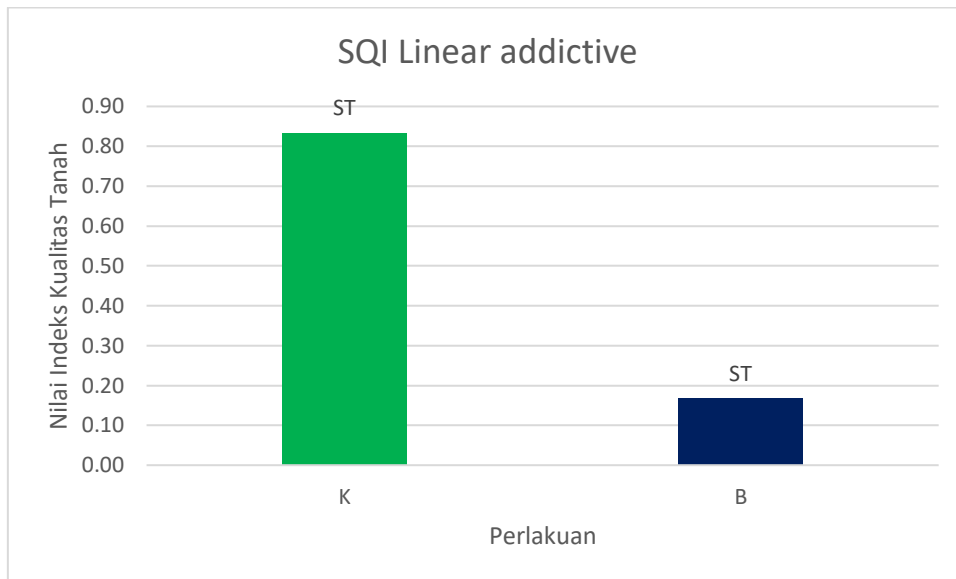
Nilai IKT pada model nonlinier adiktif menunjukkan bahwa perlakuan biochar memiliki skor yang lebih tinggi dibandingkan kontrol. Hal ini mengonfirmasi bahwa biochar mampu meningkatkan kualitas tanah secara keseluruhan melalui perbaikan pada indikator-indikator MDS. Model nonlinier menonjolkan perbedaan kualitas tanah secara lebih jelas karena memperhitungkan sensitivitas ekologis dari tiap indikator.



Gambar 2. IKT *Non-linear weighted addictive*

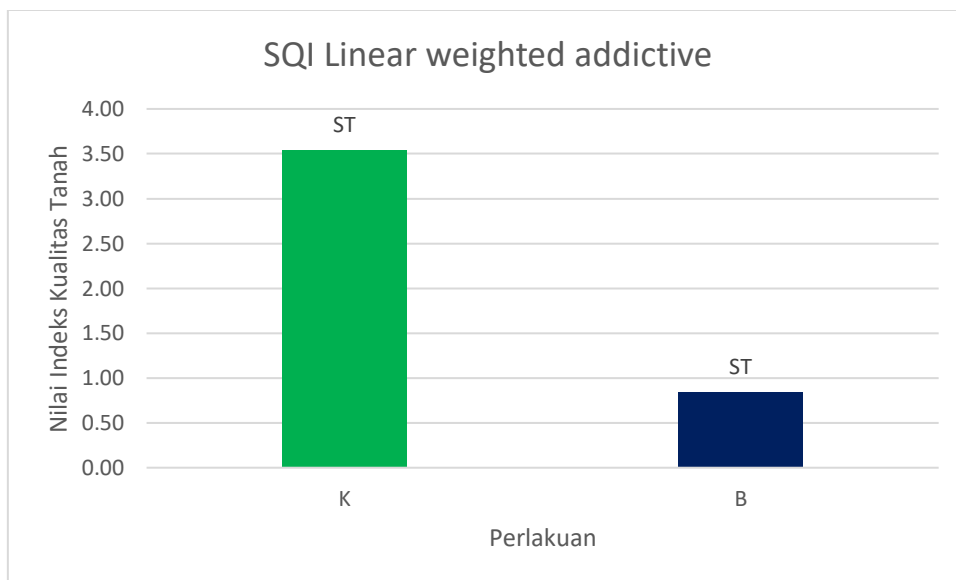
Dengan penambahan bobot dari PCA, indikator yang memiliki kontribusi lebih besar pada variasi data (misalnya C-organik, P-tersedia, dan nitrat) diberi pengaruh lebih tinggi dalam penyusunan IKT. Hasil pada model ini memperlihatkan perbedaan IKT yang lebih tajam

antara biochar dan kontrol. Temuan ini menegaskan bahwa biochar secara signifikan memengaruhi indikator-indikator paling kritis dalam menentukan kualitas tanah.



Gambar 3. IKT *Linear addictive*

Model linier adiktif tetap menunjukkan peningkatan IKT pada perlakuan biochar, meskipun selisihnya lebih kecil dibandingkan model nonlinier. Hal ini menunjukkan bahwa biochar memberikan pengaruh positif yang konsisten pada kualitas tanah, meskipun model linier kurang sensitif terhadap variabilitas indikator.



Gambar 4. IKT *Linear weighted addictive*

Penerapan bobot PCA pada model linier menghasilkan peningkatan kualitas tanah yang tetap signifikan pada perlakuan biochar. Namun, tingkat pemisahan antara perlakuan lebih

kecil dibandingkan model nonlinier berbobot. Meski demikian, konsistensi antara seluruh model menunjukkan reliabilitas tinggi dari pengaruh biochar terhadap kualitas tanah.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa aplikasi biochar memberikan dampak positif yang kuat dan konsisten terhadap kualitas tanah. Perbaikan terlihat pada indikator-indikator utama seperti kandungan karbon organik, ketersediaan fosfor, mineralisasi karbon, dan dinamika nitrogen. Analisis PCA mengidentifikasi indikator paling sensitif dan representatif, sedangkan model IKT baik linier maupun non-linier menunjukkan bahwa biochar secara nyata meningkatkan fungsi ekosistem tanah.

Temuan ini sejalan dengan berbagai penelitian sebelumnya yang melaporkan bahwa biochar meningkatkan kesuburan tanah melalui peningkatan kapasitas tukar kation, penurunan kepadatan tanah, dan peningkatan ketersediaan hara (Lehmann & Joseph, 2015; Wang et al., 2013). Dengan demikian, biochar dapat dipertimbangkan sebagai amelioran yang efektif untuk meningkatkan kualitas tanah secara berkelanjutan.

### C. DAMPAK TERHADAP PERTUMBUHAN TANAMAN TEBU

Pengamatan pertumbuhan tanaman tebu (tinggi tanaman, diameter batang, jumlah daun, jumlah ruas, panjang ruas dan jumlah rumpun per meter) dengan menggunakan biochar dan tanpa biochar dilaksanakan 8 kali pengamatan pada saat tanaman berumur 3 minggu sampai dengan 8 minggu setelah aplikasi biochar. Berdasarkan fase pertumbuhan tanaman tebu maka pada saat pengamatan tanaman tebu memasuki fase pertunasan sampai dengan vegetative cepat (masa pembentukan anakan dan pembentukan jumlah ruas). Data hasil analisis statistik menunjukkan bahwa tinggi tanaman, diameter batang, dan panjang ruas menunjukkan pengaruh nyata pada aplikasi biochar dan tanpa biochar, sedangkan pada jumlah daun, jumlah ruas dan jumlah rumpun per meter tidak menunjukkan pengaruh nyata.

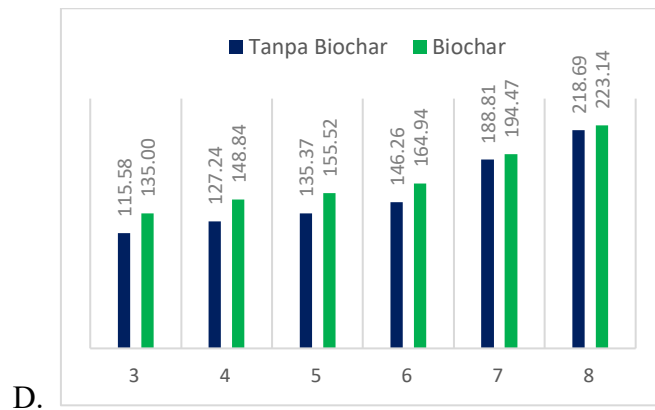
Table. Pertumbuhan Tanaman Tebu

Perlakuan	Variabel Pertumbuhan Tanaman					
	Tinggi Tanaman (cm)	Diameter Batang (batang)	Jumlah Daun (helai)	Jumlah Ruas (buku)	Panjang Ruas (cm)	Jumlah Rumpun (batang)
Biocar	223,14	2,46	11,02	7,82	118,12	7,67
Tanpa Biocar	218,69	2,08	10,73	7,79	105,70	7,22
	n	n	tn	tn	n	tn

Sumber: data BIMA, 2025

Secara statistik pada variabel pertumbuhan tinggi tanaman dengan perlakuan Biocar memiliki tinggi tanaman lebih tinggi daripada tanpa biochar. Hal ini menunjukkan pemberian

biochar memberikan efek positif dalam mendukung pertumbuhan tanaman tebu.



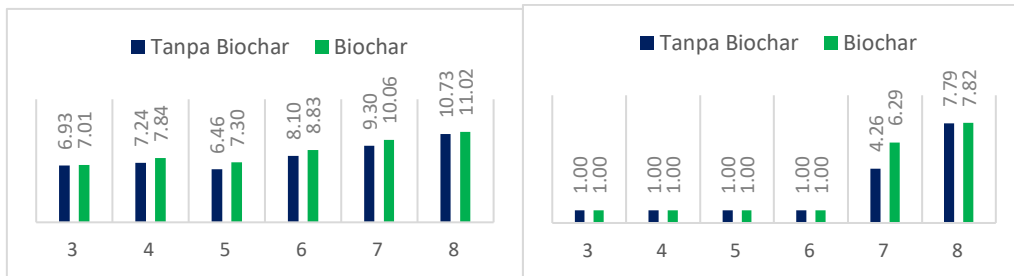
Gambar 5. Tinggi tanaman dengan perlakuan pemberian biochar dan tanpa biochar

Kemampuan biochar yang bermanfaat mempertahankan kelembaban dapat membantu tanaman pada periode periode kekeringan dapat berperan sebagai pemacu pertumbuhan tanaman dan menahan nutrisi dalam tanah sehingga nutrisi yang ada dalam tanah tidak mudah hilang dalam proses pencucian dalam tanah dan pada akhirnya akan berpengaruh pada peningkatan hasil panen (Lehmann et al., 2006). Hara N memiliki peran besar dalam pembelahan sel, pembentukan anakan dan pemanjangan batang (Saleem et al., 2012). Untuk tanaman tebu, peran nitrogen pada masa pertumbuhan tanaman tebu, berperan dalam meningkatkan pertumbuhan dan produksi tanaman tebu (Saleem et al., 2012). Penyerapan hara nitrogen terbesar untuk tanaman tebu adalah pada saat memasuki fase awal pertumbuhan hingga 70%, terutama pada tebu *ratoon* (Franco et al., 2011). Di lahan penelitian, Kalium berfungsi dalam hal penyerapan air oleh tanaman, pembukaan stomata, menjaga tekanan turgor sel dan yang paling penting untuk tanaman tebu adalah karena kalium berperan dalam translokasi gula (Gopaldasundaram et al., 2012). Selain itu kalium juga berperan dalam transfer energi dan pembentukan karbohidrat sehingga dapat meningkatkan brix dari tanaman tebu.

Pada diameter batang juga menunjukkan signifikansi pada perlakuan biochar dan tanpa biochar yang bisa mengindikasikan batang yang lebih kokoh dan pertumbuhan yang lebih baik. Penelitian (Kurniawan et al., 2016) menyatakan bahwa penggunaan biochar mampu menambah diameter batang tebu lebih besar, sehingga berpotensi menghasilkan batang tanaman tebu yang dapat menyimpan air lebih banyak dibandingkan dengan perlakuan yang tanpa penambahan biochar. Diameter batang tebu yang besar berpotensi akan menghasilkan nira gula yang lebih banyak sehingga akan meningkatkan hasil gula pada pengolahan di pabrik.

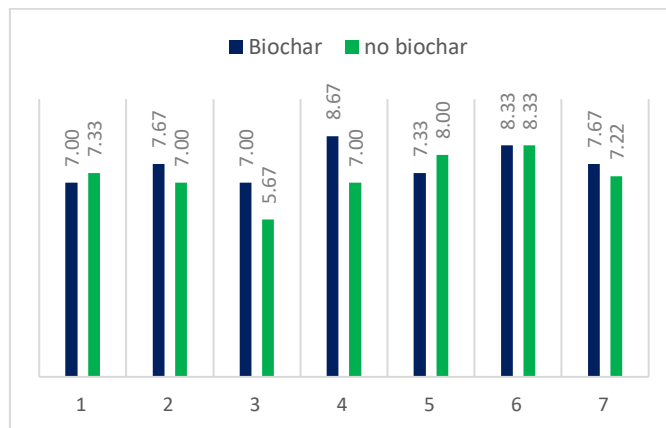
Jumlah daun dan jumlah ruas tidak menunjukkan signifikansi secara statistik, hal ini menunjukkan bahwa Biochar pada umur tanaman 8 MSA belum mampu meningkatkan

pembentukan daun yang lebih banyak, yang berperan penting untuk fotosintesis dan mendukung pertumbuhan tanaman. Begitu pun dengan Panjang ruas yang tidak berbeda nyata menunjukkan pertumbuhan jumlah daun akan mengikuti penambahan jumlah ruas. Hal ini terjadi karena daun pada tanaman tebu akan tumbuh pada ruas batang tebu yang terbentuk.



Gambar 6. Jumlah daun dan jumlah ruas pada perlakuan biochar dan tanpa biochar

Jumlah rumpun per meter pun bertambah banyak dan menunjukkan perbedaan nyata antar perlakuan. Hal ini menunjukkan adanya potensi Biochar dalam merangsang pertumbuhan anakan seiring dengan bertambahnya umur tanaman dan fase pertumbuhan tanaman tebu.



Gambar 7. Jumlah anakan per meter

Biochar memperkuat sistem perakaran dan memperbaiki penyerapan nutrisi. Kekurangan hara fosfor pada tanaman akan berakibat pada pertumbuhan yang kerdil, masa pembungaan lambat, kurang terbentuk anakan dan kondisi perakaran yang kurang maksimal. Kekurangan fosfor pada pertumbuhan tanaman tebu dapat mengakibatkan produktivitas dan rendemen tebu rendah, karena fosfor diperlukan dalam inisiasi sel dan transfer energi. Biochar juga meningkatkan performa tanaman melalui beberapa mekanisme, antara lain peningkatan *nutrient use efficiency* (Hussain et al., 2017)), peningkatan jumlah dan ketersediaan unsur hara, penurunan pencucian hara dan kehilangan hara melalui penguapan ((Ding et al., 2016)), peningkatan fiksasi nitrogen biologis pada legum ((Rondon et al., 2007); (Egamberdieva et al., 2020)), dan promosi hormon pertumbuhan tanaman. (Liao et al., 2019) menemukan bahwa aplikasi biochar berpengaruh positif terhadap pertumbuhan tebu, laju bersih fotosintesis

tanaman tebu, serta pemanfaatan unsur hara oleh tanaman.

Biochar yang mengandung silika juga meningkatkan pH tanah asam dan memperkuat buffering capacity tanah, sehingga sangat bermanfaat pada lahan-lahan marginal atau terdegradasi. Studi terbaru menunjukkan bahwa aplikasi biochar berbasis biomassa silikat secara signifikan dapat memperbaiki keseimbangan nutrisi dan aktivitas mikroba tanah, serta mendukung pertumbuhan tanaman dalam sistem pertanian berkelanjutan (L. Zhang et al., 2025). Pemberian biochar ternyata mampu meningkatkan C-organik, yang menunjukkan bahwa biochar berfungsi sebagai sumber karbon stabil yang mampu meningkatkan cadangan karbon tanah. Hal ini sesuai dengan (Lehmann et al., 2006) yang menyatakan bahwa biochar mengandung karbon aromatik yang tahan dekomposisi sehingga meningkatkan C-organik secara berkelanjutan. (Islami, 2019) menemukan bahwa aplikasi biochar berbahan baku blotong dan abu ketel tebu ternyata mampu meningkatkan status kesuburan tanah, yang kemudian diikuti dengan peningkatan hasil tebu serta kadar gula (rendemen). Aplikasi biochar memberikan dampak positif terhadap pertumbuhan dan fisiologi tebu pada tahap awal pertumbuhan dan produksi tebu, biochar juga dapat meningkatkan kualitas tebu ((Hariyono et al., 2021)).

**D. STATUS LUARAN:** Tuliskan jenis, identitas dan status ketercapaian setiap luaran wajib dan luaran tambahan (jika ada) yang dijanjikan. Jenis luaran dapat berupa publikasi, perolehan kekayaan intelektual, atau luaran lainnya yang telah dijanjikan pada proposal. Uraian status luaran harus didukung dengan bukti kemajuan ketercapaian luaran sesuai dengan luaran yang dijanjikan. Lengkapi isian jenis luaran yang dijanjikan serta unggah bukti dokumen ketercapaian luaran melalui BIMA.

Penelitian ini telah memiliki naskah jurnal yang telah di submit pada jurnal **Plant, Soil and Environment (Q2)**.

**E. PERAN MITRA:** Tuliskan realisasi kerjasama dan kontribusi Mitra baik *in-kind* maupun *in-cash* serta unggah bukti dokumen pendukung sesuai dengan kondisi yang sebenarnya. Bukti dokumen realisasi kerjasama dengan Mitra dapat unggah melalui BIMA.

**Catatan:**

*Bagian ini wajib diisi untuk penelitian terapan, untuk penelitian dasar (Fundamental, Pascasarjana, PKDN, Dosen Pemula) boleh mengisi bagian ini (tidak wajib) jika melibatkan mitra dalam pelaksanaan penelitiannya*

.....  
.....  
.....  
.....  
.....

**F. KENDALA PELAKSANAAN PENELITIAN:** Tuliskan kesulitan atau hambatan yang dihadapi selama melakukan penelitian dan mencapai luaran yang dijanjikan, termasuk penjelasan jika pelaksanaan penelitian dan luaran penelitian tidak sesuai dengan yang direncanakan atau dijanjikan.

Kendala terbesar penelitian ini adalah lamanya waktu analisa laboratorium.

**G. RENCANA TAHAPAN SELANJUTNYA:** Tuliskan dan uraikan rencana penelitian selanjutnya berdasarkan indikator luaran yang telah dicapai, rencana realisasi luaran wajib yang dijanjikan dan tambahan (jika ada) di tahun berikutnya serta *roadmap* penelitian keseluruhan. Pada bagian ini diperbolehkan untuk melengkapi penjelasan dari setiap tahapan dalam metoda yang akan direncanakan termasuk jadwal berkaitan dengan strategi untuk mencapai luaran seperti yang telah dijanjikan dalam proposal. Jika diperlukan, penjelasan dapat juga dilengkapi dengan gambar, tabel, diagram, serta pustaka yang relevan. Jika laporan kemajuan merupakan laporan pelaksanaan tahun terakhir, pada bagian ini dapat dituliskan rencana penyelesaian target yang belum tercapai.

Seluruh rancangan penelitian ini telah selesai dilaksanakan, hanya selanjutnya direncanakan menghasilkan naskah untuk publikasi dari penelitian ini.

**H. DAFTAR PUSTAKA:** Penyusunan Daftar Pustaka berdasarkan sistem nomor sesuai dengan urutan pengutipan. Hanya pustaka yang disitasi pada laporan kemajuan yang dicantumkan dalam Daftar Pustaka.

- [1] Zhang, Xiaoxiao, Xueqi Yang, Xiangru Yuan, Sicong Tian, Xinlei Wang, Hehu Zhang, and Lujia Han. 2022. "Effect of Pyrolysis Temperature on Composition, Carbon Fraction and Abiotic Stability of Straw Biochars: Correlation and Quantitative Analysis." *Carbon Research* 1(1): 1–14. doi:10.1007/s44246-022-00017-1.
- [2] Song, Shuhui, Siru Liu, Yanan Liu, Weiqi Shi, and Haiyang Ma. 2024. "Structural Characteristics and Adsorption of Phosphorus by Pineapple Leaf Biochar at Different Pyrolysis Temperatures." *Agronomy* 14(12): 2923. doi:10.3390/agronomy14122923.
- [3] Petersen, H. I., L. Lassen, A. Rudra, L. X. Nguyen, P. T.M. Do, and H. Sanei. 2023. "Carbon Stability and Morphotype Composition of Biochars from Feedstocks in the Mekong Delta, Vietnam." *International Journal of Coal Geology* 271(April). doi:10.1016/j.coal.2023.104233
- [4] Nan, Hongyan, Jianxiang Yin, Fan Yang, Ying Luo, Ling Zhao, and Xinde Cao. 2021. "Pyrolysis Temperature-Dependent Carbon Retention and Stability of Biochar with Participation of Calcium: Implications to Carbon Sequestration." *Environmental Pollution* 287: 117566. doi:10.1016/j.envpol.2021.117566.
- [5] Li, Feiyue, Jianfei Wang, Yue Xie, He Li, Xiaoliang Li, and Fenru Li. 2015. "Effects of Pyrolysis Temperature on Carbon Retention and Stability of Biochar." *Nongye Gongcheng Xuebao/Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering* 31(4): 266–71. doi:10.3969/j.issn.1002-6819.2015.04.037.
- [6] Zhang, Xiaoxiao, Xueqi Yang, Xiangru Yuan, Sicong Tian, Xinlei Wang, Hehu Zhang, and Lujia Han. 2022. "Effect of Pyrolysis Temperature on Composition, Carbon Fraction and Abiotic Stability of Straw Biochars: Correlation and Quantitative Analysis." *Carbon Research* 1(1): 1–14. doi:10.1007/s44246-022-00017-1.
- [7] Chen, Dengyu, Xinzhi Yu, Chao Song, Xiaoli Pang, Jing Huang, and Yanjun Li. 2016. "Effect of Pyrolysis Temperature on the Chemical Oxidation Stability of Bamboo Biochar." *Bioresource Technology* 218: 1303–6. doi:10.1016/j.biortech.2016.07.112.
- [8] Moradi-Choghamarani, Farzad, Ali Akbar Moosavi, and Majid Baghernejad. 2019. "Determining Organo-Chemical Composition of Sugarcane Bagasse-Derived Biochar as a Function of

Pyrolysis Temperature Using Proximate and Fourier Transform Infrared Analyses.” *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* 138(1): 331–42. doi:10.1007/s10973-019-08186-9.

- [9] Stegen, Sascha, and Prasad Kaparaju. 2020. “Effect of Temperature on Oil Quality Obtained through Pyrolysis of Sugarcane Bagasse.” *Fuel* 276: 118112. doi:10.1016/j.fuel.2020.118112.
- [10] Cheng, Jie, Sheng-Chun Hu, Guo-Tao Sun, Zeng-Chao Geng, and Ming-Qiang Zhu. 2021. “The Effect of Pyrolysis Temperature on the Characteristics of Biochar, Pyrolytic Acids, and Gas Prepared from Cotton Stalk through a Polygeneration Process.” *Industrial Crops and Products* 170: 113690. doi:10.1016/j.indcrop.2021.113690.
- [11] Chang, Jinman, and Jai-Young Lee. 2024. “Machine Learning-Based Prediction of the Adsorption Characteristics of Biochar from Waste Wood by Chemical Activation.” *Materials* 17(21): 5359. doi:10.3390/ma17215359.
- [12] De Oliveira Paiva, Igor, Everton Geraldo de Moraes, Keiji Jindo, and Carlos Alberto Silva. 2024. “Biochar N Content, Pools and Aromaticity as Affected by Feedstock and Pyrolysis Temperature.” *Waste and Biomass Valorization* 15(6): 3599–3619. doi:10.1007/s12649-023-02415-x.
- [13] Al-Wabel, Mohammad I., Abdulrasoul Al-Omran, Ahmed H. El-Naggar, Mahmoud Nadeem, and Adel R.A. Usman. 2013. “Pyrolysis Temperature Induced Changes in Characteristics and Chemical Composition of Biochar Produced from *Conocarpus* Wastes.” *Bioresource Technology* 131: 374–79. doi:10.1016/j.biortech.2012.12.165.
- [14] Zhang, Li, Zonglu Yao, Lixin Zhao, Fangyong Yu, Zhihe Li, Weiming Yi, Peng Fu, Jixiu Jia, and Yanan Zhao. 2024. “Effects of Various Pyrolysis Temperatures on the Physicochemical Characteristics of Crop Straw-Derived Biochars and Their Application in Tar Reforming.” *Catalysis Today* 433: 114663. doi:10.1016/j.cattod.2024.114663.
- [15] Suwanree, Siraprapra, Jesper T.N. Knijnenburg, Emirhan M. Ölçer, and Kaewta Jetsrisuparb. 2024. “Nutrient Retention and Availability of Biochars Prepared by Co-Pyrolysis of Vinasse with Sugarcane Filter Cake.” *Journal of Metals, Materials and Minerals* 34(4): 1–7. doi:10.55713/JMMM.V34I4.2147.
- [16] Cabrini, Mariana Paola, Reinaldo Gaspar Bastos, Roselena Faez, and Claudinei Fonseca Souza. 2025. “Biochar from Orange Waste as a Filter Medium for Domestic Effluent Treatment Aimed at Agricultural Reuse.” *Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science* 20: 1–12. doi:10.4136/ambi-agua.3024.
- [17] Xu, Lei, Feifei Zhao, Jianbiao Peng, Mingfei Ji, and B. Larry Li. 2025. “A Comprehensive Review of the Application and Potential of Straw Biochar in the Remediation of Heavy Metal-Contaminated Soil.” *Toxics* 13(2): 69. doi:10.3390/toxics13020069.
- [18] Huang, Tianzhi, and Imran. 2025. “Mitigating Cadmium Contamination in Soil Using Biochar, Sulfur-Modified Biochar, and Other Organic Amendments.” *International Journal of Phytoremediation* 27(6): 874–87. doi:10.1080/15226514.2025.2454515.
- [19] Zhang, Li, Zonglu Yao, Lixin Zhao, Fangyong Yu, Zhihe Li, Weiming Yi, Peng Fu, Jixiu Jia, and Yanan Zhao. 2024. “Effects of Various Pyrolysis Temperatures on the Physicochemical Characteristics of Crop Straw-Derived Biochars and Their Application in Tar Reforming.” *Catalysis Today* 433: 114663. doi:10.1016/j.cattod.2024.114663.
- [20] Shen, Kai, Zhi Wang, Liwei Xia, Wei Ding, Fanda Pan, Kaixuan Jiao, Xuefeng Gao, et al. 2024. “Three-Dimensional Quantitative Analysis of Porosity Evolution and Inheritance from

Biomass to Biochar through Pyrolysis.” *New Journal of Chemistry* 48(27): 12086–90. doi:10.1039/D4NJ01944J.

- [21] Qongqo, L., & Antwerpen, R. (2000). Effect of Long-Term Sugarcane Production on Physical and Chemical Properties of Soils in KwaZulu-Natal. *Proc S Afr Sug Technol Ass*, 1996, 114–121.
- [22] Augusto, L., Achat, D. L., Jonard, M., Vidal, D., & Ringeval, B. (2017). Soil parent material - a major driver of plant nutrient limitations in terrestrial ecosystems. *Global Change Biology*, 23(9), 3808–3824. <https://doi.org/10.1111/ijlh.12426>
- [23] Ardiyansyah, B., & Purwono. (2015). Mempelajari Pertumbuhan dan Produktivitas Tebu (*Saccharum Officinarum*. L) dengan Masa Tanam Sama pada Tipologi Lahan Berbeda. *Bul. Agrohorti*, 3(3), 350–356.
- [24] Saleem, M. A., Ghaffar, A., Anjum, S. A., Cheema, M. ., & Bilal, M. F. (2012). Effect of Nitrogen on Growth and Yield of Sugarcane. *Journal American Society of Sugar Cane Technologists*, 32, 75–93.
- [25] Yang, Y., Gao, S., Su, Y., Lin, Z., Guo, J., Li, M., & Wang, Z. (2019). Transcripts and low nitrogen tolerance : Regulatory and metabolic pathways in sugarcane under low nitrogen stress. *Environmental and Experimental Botany*, 163(April), 97–111. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2019.04.010>.
- [26] Nastaro, B., Mariano, E., Antunes, R., Cesar, P., & Trivelin, O. (2019). Plant Physiology and Biochemistry Influence of nitrate - ammonium ratio on the growth , nutrition , and metabolism of sugarcane. *Plant Physiology and Biochemistry*, 139(March), 246–255. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.03.024>
- [27] Leghari, S. J., Wahocho, N. A., Laghari, G. M., HafeezLaghari, A., MustafaBhabhan, G., HussainTalpur, K., Bhutto, T. A., Wahocho, S. A., & Lashari, A. A. (2016). Role of nitrogen for plant growth and development: a review. *Advances in Environmental Biology*, 10(9), 209–219.
- [28] Franco, H. C. J., Mariano, E., A.C.Vitti, C.E.Faroni, Otto, R., & P.C.O.Trivelin. (2011). Sugarcane Response to Boron and Zinc in Southeastern Brazil. *Sugar Tech*, 13(1), 86–95.
- [29] Pembengo, W., Handoko, & Suwanto. (2012). Efisiensi Penggunaan Cahaya Matahari oleh Tebu pada Berbagai Tingkat Pemupukan Nitrogen dan Fosfor. *Jurnal Agronomi Indonesia (Indonesian Journal of Agronomy)*, 40(3), 211–217. <https://doi.org/10.24831/jai.v40i3.6828>.
- [30] Ukwattage, N. L., Li, Y., Gan, Y., Li, T., & Gamage, R. P. (2020). Effect of Biochar and Coal Fly Ash Soil Amendments on the Leaching Loss of Phosphorus in Subtropical Sandy Ultisols. *Water, Air, and Soil Pollution*, 231(2). <https://doi.org/10.1007/s11270-020-4393-5>.
- [31] Ghaffar, A. (2013). Yield and Quality of Sugarcane as Influenced by Different Doses of Potash and Its Time of Application. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 50(3), 345–350.
- [32] Elamin, E. A., El-Tilib, M. A., Elnasikh, M. H., Ibrahim, S. H., Elsheikh, M. A., & Babiker, E. E. (2007). The influence of phosphorus and potassium fertilization on the quality of sugar of two sugarcane varieties grown on three soil series of Sudan. *Journal of Applied Sciences*, 7(16), 2345–2350. <https://doi.org/10.3923/jas.2007.2345.2350>
- [33] Gopaldasundaram, P., A.Bhaskaran, & P.Rakkiyappan. (2012). Integrated Nutrient Management in Sugarcane. *Sugar Tech*, 14(1), 3–20. <https://doi.org/10.1007/s12355-011-0097-x>

- [34] McCray, J. M. ., & Powell, G. (2016). Sugarcane Yield Response to Potassium on A Florida Histosol. *Journal of American Society of Sugar Cane Technologists.*, 36, 9–18.
- [35] Sukarji, Susilawardani dan Oni Apriyanto, 2017. Buku Pintar Mandor, Seri Budidaya Tanaman Tebu. PT Jogja Power, Yogyakarta
- [36] Lehmann, J., J. Gaunt, & M. Rondon. 2006. Bio-Char Sequestration In Terrestrial Ecosystems – A Review. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change.* 11: 403-427
- [37] Saleem, M. A. *et al.* (2012) ‘Effect of Nitrogen on Growth and Yield of Sugarcane’, *Journal American Society of Sugar Cane Technologists*, 32, pp. 75–93.
- [38] Ardiyansyah, B. and Purwono (2015) ‘Mempelajari Pertumbuhan dan Produktivitas Tebu (*Saccharum Officinarum*. L) dengan Masa Tanam Sama pada Tipologi Lahan Berbeda’, *Bul. Agrohorti*, 3(3), pp. 350–356. Available at: <https://journal.ipb.ac.id/index.php/bulagron/article/view/15815>.
- [39] Hussain, M., M. Farooq, A. Nawaz, A.M. Al Sadi, Z.M. Solaiman, S.S. Alghamdi, U. Ammara, Y.S. Ok, & K.H. Siddique. 2017. Biochar For Crop Production: Potential Benefits And Risks. *Journal of Soils Sediments.* 17: 685–716.
- [40] Ding, Y., Y. Liu, S. Liu, Z. Li., X Tan, X. Huang, G. Zeng, L. Zhou, & B. Zheng. 2016. Biochar To Improve Soil Fertility: A Review. *Agronomy for Sustainable Development.* 36: 1 18
- [41] Rondon, M.A., J. Lehmann, J. Ramírez, & M. Hurtado. 2007. Biological Nitrogen Fixation By Common Beans (*Phaseolus vulgaris* L.) Increases With Bio-Char Additions. *Biological Fertility of Soils.* 43: 699–708
- [42] Liao, F., L. Yang, Q. Li, J. Xue, Y. Li, D. Huang, & L. Yang. 2019. Effect Of Biochar On Growth, Photosynthetic Characteristics And Nutrient Distribution In Sugarcane. *Sugar Tech.* 21: 289-295
- [43] Islami, T., E. Wisnubroto, & W. Nugroho. 2015. Biochar Derived From Sugarcane Industry Waste Increasing Productivity Of Degraded Land. *International Journal of Soil Science.* 12: 1–9.
- [44] Hariyono, B. 2021. Multifungsi Biochar Dalam Budidaya Tebu. *Buletin Tanaman Tembakau, Serat & Minyak Industri.* 13 (2): 94-112



POLITEKNIK LPP YOGYAKARTA  
UNIT PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA  
MASYARAKAT (UP2M)

JL. LPP No. 1A, Balapan, Yogyakarta 55222

Telp. (0274) 555776 Fax. (0274) 585274

## SURAT TUGAS

Nomor : 37A/UP2M/ST/VIII/2025

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Dr. Ir. M. Mustangin, ST., M. Eng.  
Jabatan : Direktur Politeknik LPP

Dengan ini memberikan tugas kepada:

**(Nama-nama terlampir)**

Untuk melaksanakan tugas melaksanakan Penelitian dengan judul “Analisa Indeks Kualitas Tanah, Pertumbuhan dan Produktivitas Tebu pada Lahan Budidaya Tebu Vertisol Monokultur Jangka Panjang Akibat Penambahan Biochar” pada:

Hari/Tanggal : Agustus - Desember 2025  
Tempat : Yogyakarta

Demikian surat tugas ini di buat untuk dilaksanakan dengan penuh tanggung jawab. Untuk laporan Pengabdian kepada Masyarakat dimohon berkoordinasi dengan Unit Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (UP2M) Politeknik LPP Yogyakarta.

Yogyakarta, 10 Agustus 2025

Direktur Politeknik LPP



Dr. Ir. M. Mustangin, ST., M. Eng.



**POLITEKNIK LPP YOGYAKARTA**  
**UNIT PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA**  
**MASYARAKAT (UP2M)**

**JL. LPP No. 1A, Balapan, Yogyakarta 55222**

**Telp. (0274) 555776 Fax. (0274) 585274**

Lampiran Surat : 37A/UP2M/ST/VIII/2025

**IDENTITAS PENGUSUL**

No.	Nama	Peran	Prodi	Bidang Tugas
1.	RATNA SRI HARJANTI 0020027801	Ketua Pengusul Politeknik LPP Yogyakarta	TRKI	Bertanggung jawab terhadap seluruh kegiatan penelitian hingga laporan dan publikasi
2.	SYAMUDDIN HARAHAHAP 0527049202	Anggota Politeknik LPP Yogyakarta	PPN	Bertanggung jawab terhadap analisa pertumbuhan tanaman
3.	ANNA KUSUMAWATI 0505048602	Anggota Politeknik LPP Yogyakarta	PPN	Bertanggung jawab pada analisa perlakuan terhadap kondisi tanah
4.	AMIR NOVIYANTO 0522119501	Anggota Institut Pertanian Stiper	Agrotek nologi	Bertanggung jawab terhadap drone mapping lokasi penelitian , serta pedologi tanah
5.	RETNO MUNINGSIH 0526037901	Anggota Politeknik LPP Yogyakarta	BTP	Bertanggung terhadap budidaya tanaman tebu
6.	HERU WANSYAH HARAHAHAP 2205088	Mahasiswa Politeknik LPP Yogyakarta	PPN	Membantu pengambilan sampel
7.	FARHAN ABIYU LUBIS 2205031	Mahasiswa Politeknik LPP Yogyakarta	PPN	Membantu Pengambilan data di lapangan
8.	NURHAYATI NASUTION 2301013	Mahasiswa Politeknik LPP Yogyakarta	TRKI	Membantu Pengambilan sampel
9.	DAFA WIRA DARMA P 2301003	Mahasiswa Politeknik LPP Yogyakarta	TRKI	Membantu pengambilan sampel

Yogyakarta, 10 Agustus 2025

Direktur Politeknik LPP



Dr. Ir. M. Mustangin, ST., M. Eng.