BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Analisis Tanah Awal

Proses analisis tanah dapat dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kandungan unsur hara tanah sebelum dilakukan proses penanaman. Proses analisis tanah dilakukan di Laboratorium Ekologi dan Produksi Tanaman, Fakultas Peternakan dan Pertanian, Universitas Diponegoro. Tanah yang digunakan merupakan tanah yang diambil dari Kelurahan Cepoko, Kecamatan Gunung Pati, Kota Semarang. Analisis sifat tanah awal meliputi pH, N-Total, P_2O_5 HCl 25%, K_2O HCl 25%, C-Organik, C/N Ratio, KTK, *Electrical Conductivity* (EC), P_2O_5 Bray, dan Tekstur. Hasil analisis tanah awal disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Analisis Tanah Awal

No	Parameter Tanah	Hasil Analisis Tanah	Kriteria
1.	pH (H_2O)	5,2*	Masam
2.	pH (KCl)	4,5*	Masam
3.	N-Total (%)	0,12*	Rendah
4.	P_2O_5 HCl 25% (mg/100g)	39,57*	Sedang
5.	K_2O HCl 25% (mg/100g)	28,94*	Sedang
6.	C-Organik (%)	1,14*	Rendah
7.	C/N Ratio	9,49*	Rendah
8.	KTK (cmol(+) kg^{-1})	13,5**	Rendah
9.	*Electrical Conductivity* (mS/cm)	0,05*	Sangat rendah
10.	P-Tersedia (ppm P)	9,61*	Sedang
11.	Al-dd (cmol(+) kg^{-1})	1,82	-
12.	Tekstur	Fraksi Pasir (%) : 24,96* Fraksi Debu (%) : 50,31* Fraksi Liat (%) : 24,73*	Lempung berdebu

Berdasarkan Balai Pengujian Standar Instrumen Tanah dan Pupuk, 2023
*) Hasil Laboratorium Ekologi dan Produksi Tanaman, Universitas Diponegoro, 2026
**) Hasil Laboratorium Badan Standardisasi Instrumen Pertanian, Semarang, 2026

Berdasarkan Tabel 1 menunjukkan bahwa tanah dari Kelurahan Cepoko tergolong bertekstur lempung berdebu dengan dominasi fraksi debu (50,31%), serta sebagian indikator kesuburan tanah tergolong rendah – sangat rendah. Secara kimia tanah ini menunjukkan beberapa kendala kesuburan seperti pH tanah yang masam, N-total, C-organik, KTK rendah, lalu P_2O_5 HCl 25%, K_2O HCl 25%, P_2O_5 Bray pada kriteria sedang. Menurut Firnia (2018) pada tanah masam, fosfat dapat teradsorpsi atau terpresipitasi oleh Al dan Fe sehingga konsentrasi P dalam larutan tanah dan ketersediaannya bagi tanaman menurun. Selain itu, kandungan bahan organik di dalam tanah sangat penting karena untuk memicu meningkatnya pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Menurut Dewi *et al*. (2024) rendahnya bahan organik menandakan bahwa daya simpan dan daya tahan terhadap pencucian hara (*leaching*) masih lemah sehingga memungkinkan dapat menurunkan efisiensi pemupukan secara drastis serta dapat memicu degradasi lahan jangka panjang yang ditandai dengan kerentanan terhadap erosi dan pemadatan tanah.

4.2. Hasil Analisis Jenis Biochar

Proses analisis biochar dapat dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kandungan unsur hara jenis biochar sebelum dilakukan proses penanaman. Proses analisis biochar dilakukan di Laboratorium Badan Standardisasi Instrumen Pertanian, Kecamatan Ungaran Timur, Kabupaten Semarang. Analisis biochar meliputi pH, N-Total, P-Total, K-Total, Carbon, C-Organik, C/N Ratio. Hasil analisis jenis biochar disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Analisis Jenis Biochar

Parameter Pengukuran	Biochar Sekam Padi	Biochar Batang Singkong	Biochar Tongkol Jagung
pH	8,92	8,16	9,37
N-Total (%)	0,53	0,48	0,69
P-Total (%)	0,21	0,45	0,34
K-Total (%)	0,35	0,33	0,42
C-Organik (%)	39,95	35,69	48,99
C/N Ratio	75,38	74,35	71,00

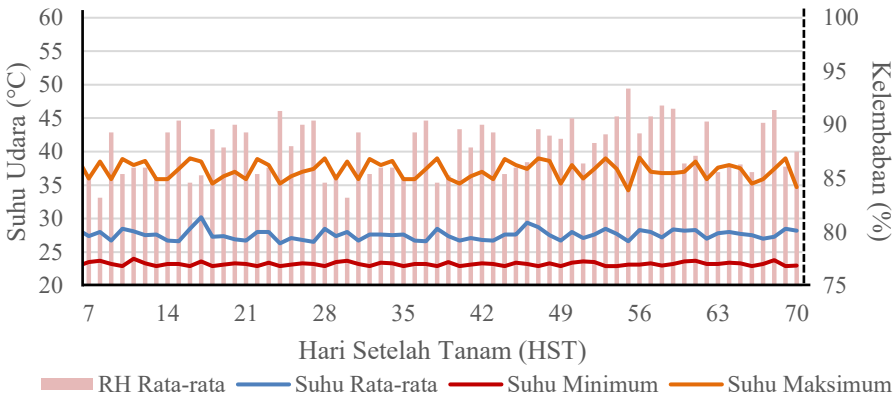
Hasil Laboratorium Badan Standardisasi Instrumen Pertanian, Semarang, 2026

Berdasarkan Tabel 2 menunjukkan bahwa nilai pH ketiga jenis biochar bersifat alkalis (basa) dengan kisaran (8,16-9,37). Biochar tongkol jagung memiliki nilai pH tertinggi yaitu 9,37, biochar sekam padi 8,92, dan biochar batang singkong 8,16. Menurut Sholihah *et al*. (2025) sifat alkalis terbentuk akibat pelepasan kation-kation basa serta hilangnya gugus fungsi asam selama proses pirolisis, sehingga ketiga jenis biochar sangat potensial digunakan sebagai pembenah tanah. Ketiga jenis biochar tersebut di dominasi oleh nilai parameter berkategori tinggi hingga sangat tinggi, terutama pada komponen pH, C-organik, dan C/N rasio. Menurut Melati *et al*. (2020) tingginya kandungan karbon pada tongkol jagung kemungkinan dipengaruhi oleh tingginya fraksi lignoselulosa alami pada bahan baku dasar.

4.3. Kondisi Lingkungan

Kondisi lingkungan di dalam *greenhouse* Svarnaloka Indonesia pada Lampiran 5 diamati dengan melakukan pengamatan suhu dan kelembaban udara (RH) minimum dan maksimum sejak awal penanaman hingga pemanenan selama 70 hari.

Hasil rata-rata suhu dan kelembaban *greenhouse* disajikan pada Ilustrasi 1.



Ilustrasi 5. Grafik rata-rata suhu dan kelembaban *greenhouse*

Berdasarkan Ilustrasi 5 menunjukkan bahwa suhu rata-rata harian selama penelitian tercatat sebesar 27,6°C, dengan rata-rata suhu minimum harian sebesar 22,9°C dan rata-rata suhu maksimum harian sebesar 37,1°C. Menurut Anggraini (2019) tanaman jagung manis umumnya dapat tumbuh pada suhu optimal antara 23-30°C untuk pertumbuhan vegetatif hingga fase generatif, tetapi lonjakan suhu maksimum yang tinggi dapat mengganggu proses fisiologis tanaman. Hasil pengamatan kelembaban udara rata-rata harian menunjukkan angka 88%, dengan rata-rata kelembaban minimum sebesar 54% dan kelembaban maksimum mencapai 100% yang menunjukkan kondisi udara sangat lembab di dalam *greenhouse*. Menurut Rosnina *et al*. (2021) kelembaban udara yang cenderung tinggi dapat disebabkan oleh kondisi cuaca yang bertepatan dengan musim penghujan, serta struktur *greenhouse* yang membatasi sirkulasi angin bebas.

4.4. Rekapitulasi Hasil Analisis Ragam

Berdasarkan hasil analisis ragam seluruh parameter terhadap perlakuan jenis biochar dan dosis pupuk fosfor pada sifat kimia tanah, pertumbuhan, dan hasil tanaman jagung manis. Kompilasi hasil parameter sifat kimia tanah, pertumbuhan, dan hasil tanaman jagung manis disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Rekapitulasi Hasil Analisis Ragam Sifat Kimia, Pertumbuhan, dan Hasil Tanaman Jagung Manis pada Perlakuan Jenis Biochar dan Dosis Pupuk Fosfor

No	Parameter	Jenis Biochar (B0/B1/B2/B3)	Dosis Pupuk Fosfor (P0/P1/P2/P3)	Interaksi (B × P)
1.	pH Tanah	*(b/ab/b/a)	*(b,a,a,a)	tn
2.	P-Tersedia (ppm P)	*(b/a/a/a)	*(c/b/b/a)	tn
3.	Kapasitas Tukar Kation (cmol(+) kg^{-1})	tn	tn	tn
4.	Tinggi Tanaman 70 HST (cm)	tn	*(b/a/a/a)	tn
5.	Jumlah Daun 70 HST (helai)	tn	*(b/a/a/a)	tn
6.	Indeks Kehijauan Daun	tn	*(b/a/a/a)	tn
7.	Jumlah Tongkol (tongkol)	tn	tn	tn
8.	Bobot Basah Tongkol (g)	tn	*(d/c/b/a)	tn
9.	Panjang Tongkol (cm)	tn	tn	tn
10.	Diameter Tongkol (cm)	tn	tn	tn
11.	Bobot Segar Tanaman (g)	*(b/a/ab/a)	*(c/b/a/a)	tn
12.	Bobot Kering Tanaman (g)	*(b/a/ab/a)	*(c/ab/b/a)	tn
13.	Bobot Basah Biji (g)	tn	*(d/c/b/a)	tn
14.	Bobot Kering Biji (g)	tn	*(b/a/a/a)	tn
15.	Kemanisan Biji (°brix)	tn	tn	tn
16.	Serapan P Brangkasan (mg P/tanaman)	tn	*(b/a/b/ab)	tn
17.	Serapan P Biji (mg P/tanaman)	tn	*(c/b/a/b)	tn

(*) berpengaruh nyata pada taraf 5%: (tn) tidak berpengaruh nyata; (a,b,c,d) superskrip

Berdasarkan Tabel 3 menunjukkan terdapat pengaruh perlakuan jenis biochar terhadap parameter pH tanah, P-tersedia, bobot segar tanaman, dan bobot kering tanaman. Pemberian perlakuan dosis pupuk fosfor dapat memberikan pengaruh

terhadap parameter pH tanah, P-tersedia, serapan P (brangkasan), serapan P (biji), tinggi tanaman 70 HST, jumlah daun 70 HST, indeks kehijauan daun, bobot segar tanaman, bobot kering tanaman, bobot basah biji, bobot kering biji, dan bobot basah tongkol per tanaman.

4.5. pH Tanah

Berdasarkan hasil analisis ragam pada Lampiran 6 menunjukkan bahwa perlakuan jenis biochar dan dosis pupuk fosfor berbeda nyata terhadap parameter pH tanah. Interaksi antara jenis biochar dengan dosis pupuk fosfor tidak berbeda nyata terhadap parameter pH tanah. Hasil analisis pH tanah akibat faktor jenis biochar dan dosis pupuk fosfor disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Pengaruh Jenis Biochar dan Dosis Pupuk Fosfor Terhadap pH Tanah.

Biochar	Pupuk Fosfor (kg SP-36 ha^{-1})				Rata-rata
	0	125	150	175	
	---------- (pH tanah) ----------				
Kontrol	5,58	5,72	5,75	5,79	$5,71^{b}$
Biochar Sekam Padi	5,69	5,93	5,83	5,80	$5,81^{ab}$
Biochar Batang Singkong	5,49	5,81	5,81	5,78	$5,72^{b}$
Biochar Tongkol Jagung	5,61	5,84	5,89	6,03	$5,84^{a}$
Rata-rata	$5,59^{b}$	$5,83^{a}$	$5,82^{a}$	$5,85^{a}$	5,77

Superskrip berbeda pada baris dan kolom rata-rata menunjukkan perbedaan nyata (P<0,05)

Berdasarkan Tabel 4 dapat diketahui bahwa perlakuan jenis biochar menunjukkan berbeda nyata terhadap parameter pH tanah pada perlakuan B3 (biochar tongkol jagung) dari B0 (kontrol) dan B2 (biochar batang singkong), tetapi tidak berbeda nyata dari B1 (biochar sekam padi). Hal ini diduga disebabkan oleh adanya perbedaan bahan baku yang digunakan sebagai biochar diduga menghasilkan karakteristik kimia yang berbeda sehingga kemampuan masing-

masing bahan baku dalam memodifikasi reaksi tanah berbeda, akan tetapi kontribusi senyawa alkalis, kation basa, dan gugus fungsional permukaan tidak diukur secara langsung pada penelitian ini. Menurut Aswiguna *et al*. (2022) adanya variasi peningkatan nilai pH tanah diduga oleh tingginya kandungan kation-kation basa serta kandungan abu pada jenis bahan baku dan suhu pirolisis. Mekanisme peningkatan pH tanah melalui pemberian biochar ini juga terjadi karena senyawa alkali dan gugus fungsional bermuatan negatif seperti gugus karboksil dan hidroksil yang ada pada permukaan biochar. Menurut Solfianti *et al*. (2021) biochar berfungsi efektif sebagai amelioran organik yang bersifat basa saat diaplikasikan, sehingga mineral pada permukaan dan oksida-oksida basa mengalami disosiasi yang mampu mengikat ion aluminium (Al^{3+}) dan hidrogen (H^{+}) bebas.

Perlakuan dosis pupuk fosfor menunjukkan berbeda nyata terhadap parameter pH. Perlakuan P3 (175 kg SP-36 ha^{-1}), P1 (125 kg SP-36 ha^{-1}), dan P2 (150 kg SP-36 ha^{-1}) tidak berbeda nyata satu sama lain dan menghasilkan pH yang lebih tinggi daripada P0 (0 kg SP-36 ha^{-1}). Hal ini diduga disebabkan karena penyerapan unsur P pada pupuk oleh oksida Fe dan Al berkurang seiring dengan meningkatnya pH di dalam tanah. Menurut Janu dan Mutiara (2021) apabila pH tanah meningkat maka aktivitas Fe dan Al akan menurun, sehingga adsorpsi berkurang dan konsentrasi P larutan meningkat. Pengaruh pupuk P terhadap pH tanah mengindikasikan adanya dinamika reaksi kimia dan perubahan aktivitas kation atau anion di dalam larutan tanah, serta penambahan ion fosfat ($H_2PO_4^{-}$) berpotensi menekan kemasaman tanah, tetapi mekanisme tersebut tidak diukur secara langsung. Menurut Kaya (2018) peningkatan pH tanah pada perlakuan pupuk

P diduga dapat berkaitan dengan adanya perubahan reaksi tanah setelah pengaplikasian pupuk dan dinamika Al atau Fe.

4.6. P-Tersedia (ppm P)

Berdasarkan hasil analisis ragam pada Lampiran 7 menunjukkan bahwa perlakuan jenis biochar dan dosis pupuk fosfor berbeda nyata terhadap parameter P-tersedia. Interaksi antara jenis biochar dengan dosis pupuk fosfor tidak berbeda nyata terhadap parameter P-tersedia. Hasil analisis P-tersedia akibat faktor jenis biochar dan dosis pupuk fosfor disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Pengaruh Jenis Biochar dan Dosis Pupuk Fosfor Terhadap P-Tersedia.

Biochar	Pupuk Fosfor (kg SP-36 ha^{-1})				Rata-rata
	0	125	150	175	
	---------- (ppm P) ----------				
Kontrol	10,33	35,67	34,21	38,55	$29,69^{b}$
Biochar Sekam Padi	14,71	37,25	40,15	40,48	$33,15^{a}$
Biochar Batang Singkong	13,88	37,28	38,24	39,55	$32,24^{a}$
Biochar Tongkol Jagung	15,87	38,44	36,10	41,88	$33,07^{a}$
Rata-rata	$13,70^{c}$	$37,16^{b}$	$37,17^{b}$	$40,11^{a}$	32,04

Superskrip berbeda pada baris dan kolom rata-rata menunjukkan perbedaan nyata ($P<0,05$)

Berdasarkan Tabel 5 dapat diketahui bahwa perlakuan jenis biochar menunjukkan berbeda nyata terhadap parameter P-tersedia, namun B1 (biochar sekam padi), B3 (biochar tongkol jagung) dan B2 (biochar batang singkong) tidak berbeda nyata satu sama lain, tetapi seluruhnya lebih tinggi daripada B0 (kontrol) . Hal ini diduga disebabkan karena biochar secara alami sudah mengandung fosfor dari bahan baku asalnya yang perlahan-lahan ikut terlepas ke dalam tanah setelah diaplikasikan. Menurut Sirait *et al*. (2020) pengaplikasian biochar secara nyata

dapat meningkatkan ketersediaan fosfor di dalam tanah melalui modifikasi pH tanah yang mengurangi pengikatan P oleh logam Al dan Fe, serta melalui sumbangan langsung dari kandungan fosfor yang terdapat di dalam pori-pori biochar. Struktur biochar yang berpori-pori dan memiliki permukaan yang besar juga membantu untuk menjaga agar fosfor yang sudah terlepas tidak mudah hanyut atau hilang terbawa oleh air. Menurut Firnia (2018) luas permukaan biochar yang tinggi mampu meningkatkan kapasitas tanah dalam menahan unsur hara, sehingga menekan pencucian fosfat dan secara konsisten menjaga ketersediaan P bebas di dalam larutan tanah bagi tanaman.

Perlakuan dosis pupuk fosfor menunjukkan berbeda nyata terhadap parameter P-tersedia. Perlakuan P3 (175 kg SP-36 ha^{-1}) menghasilkan P-tersedia tertinggi, sedangkan P1 (125 kg SP-36 ha^{-1}), P2 (150 kg SP-36 ha^{-1}) tidak berbeda nyata satu sama lain tetapi keduanya lebih tinggi daripada P0 (0 kg SP-36 ha^{-1}), sehingga peningkatan P-tersedia tidak sepenuhnya linier pada setiap kenaikan dosis yang diuji. Hal ini diduga disebabkan karena aplikasi pupuk fosfor secara langsung dapat menambah jumlah hara fosfat ke dalam larutan tanah, sehingga semakin tinggi dosis pupuk P yang diberikan maka jumlah fraksi fosfor larut yang siap digunakan oleh tanaman juga akan semakin meningkat. Menurut Solihin *et al*. (2019a) aplikasi pupuk fosfor secara konvensional akan langsung meningkatkan konsentrasi ortofosfat dalam larutan tanah, sehingga mampu menaikkan status P-tersedia yang dapat diserap oleh perakaran tanaman. Sebagian besar pupuk P yang diberikan ke dalam tanah akan mengalami pengikatan atau fiksasi oleh logam tanah, sehingga pemberian dosis yang tepat dan lebih tinggi kemungkinan mampu meningkatkan

fraksi P yang tersisa. Menurut Nurida *et al*. (2017) peningkatan dosis pupuk P secara bertahap diduga meningkatkan fraksi P yang tetap berada dalam bentuk tersedia, sehingga dapat diserap secara optimal oleh tanaman.

4.7. KTK (cmol(+) kg^{-1})

Berdasarkan hasil analisis ragam pada Lampiran 8 menunjukkan bahwa perlakuan jenis biochar, dosis pupuk fosfor, dan interaksi antara jenis biochar dan dosis pupuk fosfor tidak berbeda nyata terhadap parameter KTK. Hasil analisis KTK akibat faktor jenis biochar dan dosis pupuk fosfor disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Pengaruh Jenis Biochar dan Dosis Pupuk Fosfor Terhadap KTK.

Biochar	Pupuk Fosfor (kg SP-36 ha^{-1})				Rata-rata
	0	125	150	175	
	---------- (cmol(+) kg-1) ----------				
Kontrol	15,03	14,48	11,94	12,49	13,49
Biochar Sekam Padi	13,63	15,70	13,84	16,07	14,81
Biochar Batang Singkong	11,50	16,04	16,18	16,20	14,98
Biochar Tongkol Jagung	14,95	14,66	14,48	16,53	15,16
Rata-rata	13,78	15,22	14,11	15,32	14,61

Berdasarkan Tabel 6 dapat diketahui bahwa perlakuan jenis biochar menunjukkan tidak berbeda nyata terhadap parameter KTK. Hal ini diduga disebabkan karena biochar yang baru diaplikasikan ke dalam tanah masih bersifat pasif untuk meningkatkan KTK tanah dan biochar sangat bergantung pada pembentukan gugus fungsional bermuatan negatif di permukaannya. Menurut Arman *et al*. (2020) biochar yang baru diaplikasikan kemungkinan memiliki kerapatan gugus fungsional yang masih rendah, sehingga kemampuan untuk meningkatkan KTK tanah secara signifikan baru akan terlihat setelah biochar

mengalami proses oksidasi permukaan dalam jangka panjang. Sifat dasar kestabilan struktur karbon yang tinggi pada semua jenis biochar tidak mudah terurai dalam waktu singkat, sehingga kontribusi senyawa organik dari jenis biochar terhadap penambahan muatan negatif tanah diindikasikan masih berada pada tingkat yang relatif sama. Menurut Nurida *et al*. (2017) sifat biochar yang sangat stabil dapat menyebabkan perubahan sifat kimia tanah seperti KTK berlangsung secara lambat, sehingga dalam jangka pendek aplikasi berbagai jenis bahan baku biochar sering kali belum menunjukkan perbedaan kapasitas retensi kation yang kontras sebelum terjadinya modifikasi permukaan biochar secara intensif oleh lingkungan tanah.

Perlakuan dosis pupuk fosfor menunjukkan tidak berbeda nyata terhadap parameter KTK. Hal ini diduga disebabkan karena pupuk fosfor yang diaplikasikan hanya menyumbangkan ion fosfat yang merupakan anion bukan kation, sehingga ion fosfat ini akan diserap oleh tanaman atau diikat oleh logam tanah. Menurut Firnia (2018) kapasitas tukar kation adalah sifat fisikokimia tanah yang dikendalikan oleh jumlah fraksi liat dan kandungan bahan organik tanah, sehingga penambahan pupuk makro anorganik seperti pupuk P hanya memengaruhi konsentrasi hara spesifik di dalam larutan tanah dan tidak memodifikasi kapasitas total serapan kation pada koloid tanah. Aplikasi pupuk fosfor tunggal juga tidak memberikan tambahan senyawa karbon organik yang dapat merangsang pembentukan humus baru. Menurut Putri *et al*. (2017) perubahan KTK tanah umumnya membutuhkan pasokan bahan yang kaya akan gugus fungsional karboksil dan fenolik, karena pupuk fosfor murni tidak mengandung komponen organik.

4.8. Tinggi Tanaman 70 HST (cm)

Berdasarkan hasil analisis ragam pada Lampiran 9 menunjukkan bahwa perlakuan dosis pupuk fosfor berbeda nyata terhadap parameter tinggi tanaman 70 HST. Perlakuan jenis biochar dan interaksi antara jenis biochar dengan dosis pupuk fosfor tidak berbeda nyata terhadap parameter tinggi tanaman 70 HST. Hasil analisis tinggi tanaman 70 HST akibat faktor jenis biochar dan dosis pupuk fosfor disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Pengaruh Jenis Biochar dan Dosis Pupuk Fosfor Terhadap Tinggi Tanaman 70 HST.

Biochar	Pupuk Fosfor (kg SP-36 ha^{-1})				Rata-rata
	0	125	150	175	
	---------- (cm) ----------				
Kontrol	146,33	243,67	227,00	223,00	210,00
Biochar Sekam Padi	170,67	199,00	241,33	231,67	210,67
Biochar Batang Singkong	167,67	220,67	219,00	230,00	209,33
Biochar Tongkol Jagung	186,67	201,33	237,33	236,33	215,42
Rata-rata	167,83[b]	216,17[a]	231,17[a]	230,25[a]	211,35

Superskrip berbeda pada baris rata-rata menunjukkan perbedaan nyata (P<0,05)

Berdasarkan Tabel 7 dapat diketahui bahwa perlakuan jenis biochar menunjukkan tidak berbeda nyata terhadap parameter tinggi tanaman 70 HST karena semua jenis biochar yang diuji terbuat dari bahan organik yang telah mengalami pirolisis tinggi, pori-pori dan gugus fungsional di permukaannya masih bersifat pasif, sehingga mengakibatkan kontribusi langsung dari jenis biochar dalam melepaskan hara untuk memacu tinggi tanaman masih berada pada tingkat yang sama-sama rendah. Menurut Melati *et al*. (2020) sifat biochar yang sangat

stabil menyebabkan pengaruhnya terhadap perubahan sifat kimia tanah dan stimulasi pertumbuhan tanaman vegetatif berjalan lambat. Respon tinggi tanaman ini juga dapat disebabkan oleh belum terjadinya perubahan sifat fisik tanah secara masif, seperti peningkatan kapasitas menahan air atau perbaikan aerasi tanah secara kontras di antara jenis biochar. Menurut Putri *et al*. (2017) fungsi utama biochar pada awal aplikasi baru sebatas sebagai pembenah fisik pasif, sehingga belum mampu bertindak sebagai stimulator pertumbuhan vertikal yang membedakan satu perlakuan dengan perlakuan lainnya.

Perlakuan dosis pupuk fosfor menunjukkan berbeda nyata terhadap parameter tinggi tanaman 70 HST, tetapi pada seluruh perlakuan dosis pupuk fosfor P3 (175 kg SP-36 ha^{-1}), P2 (150 kg SP-36 ha^{-1}), dan P1 (125 kg SP-36 ha^{-1}) tidak berbeda nyata satu sama lain dan menghasilkan pertumbuhan tinggi tanaman yang lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan kontrol (P0). Hal ini diduga disebabkan karena fosfor adalah komponen esensial dalam pembentukan senyawa kaya energi seperti ATP, asam nukleat, dan fosfolipid sehingga kecukupan P mendukung transfer energi, pembelhan sel, dan perkembangan jaringan meristem. Menurut Hawayanti *et al*. (2020) fosfor sangat vital pada awal fase vegetatif untuk mendukung pembelahan sel dan perkembangan jaringan meristem, sehingga kecukupan hara P yang diserap oleh tanaman akan memicu pertambahan tinggi tanaman. Terpenuhinya kebutuhan P di tanah mampu merangsang perkembangan volume akar menjadi lebih luas dan dalam untuk memiliki kapasitas yang lebih besar untuk menyerap air dan hara makro. Menurut Firnia (2018) pertumbuhan akar yang responsif terhadap pasokan P yang memadai akan meningkatkan efisiensi

penyerapan hara dan air secara keseluruhan, sehingga meningkatkan ekspansi t 42
dan pertambahan tinggi tanaman.

4.9. Jumlah Daun 70 HST (helai)

Berdasarkan hasil analisis ragam pada Lampiran 10 menunjukkan bahwa perlakuan dosis pupuk fosfor berbeda nyata terhadap parameter jumlah daun 70 HST. Perlakuan jenis biochar dan interaksi antara jenis biochar dengan dosis pupuk fosfor tidak berbeda nyata terhadap parameter jumlah daun 70 HST. Hasil analisis jumlah daun 70 HST akibat faktor jenis biochar dan dosis pupuk fosfor disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8. Pengaruh Jenis Biochar dan Dosis Pupuk Fosfor Terhadap Jumlah Daun 70 HST

Biochar	Pupuk Fosfor (kg SP-36 ha^{-1})				Rata-rata
	0	125	150	175	
	---------- (helai) ----------				
Kontrol	7,67	12,33	10,00	12,00	10,50
Biochar Sekam Padi	9,33	11,00	11,33	12,00	10,92
Biochar Batang Singkong	9,00	12,67	11,33	13,00	11,50
Biochar Tongkol Jagung	9,00	12,33	12,33	12,67	11,58
Rata-rata	$8,75^{b}$	$12,08^{a}$	$11,25^{a}$	$12,42^{a}$	11,13

Superskrip berbeda pada baris rata-rata menunjukkan perbedaan nyata (P<0,05)

Berdasarkan Tabel 8 dapat diketahui bahwa perlakuan jenis biochar menunjukkan tidak berbeda nyata terhadap parameter jumlah daun 70 HST. Hal ini diduga disebabkan karena variasi jenis biochar pada satu musim tanam belum menghasilkan respon tajuk yang berbeda nyata, serta seluruh perlakuan mampu menerima dosis urea yang sama, sehingga kontribusi langsung N dari biochar terhadap pembentukan daun tidak dapat dipisahkan dari pengaruh pemupukan dasar. Menurut Sholihah *et al*. (2025) aplikasi biochar segar sering tidak mengubah

laju pertumbuhan organ daun secara signifikan pada musim tanam pertama yang disebabkan oleh sifat matriks karbon biochar yang cenderung menahan hara secara kuat daripada melepaskan ke larutan tanah dalam jangka pendek. Pembentukan jumlah daun juga berjalan beriringan dengan kecepatan pembentukan tinggi tanaman dan jumlah buku batang. Menurut Rosnina *et al*. (2021) jenis bahan baku biochar memiliki dampak yang relatif sama terhadap parameter arsitektur tajuk vegetatif tanaman jika pengaplikasiannya secara tunggal pada tanah yang memiliki kekurangan hara makro.

Perlakuan dosis pupuk fosfor menunjukkan berbeda nyata terhadap parameter jumlah daun 70 HST, tetapi pada seluruh perlakuan dosis pupuk fosfor P3 (175 kg SP-36 ha^{-1}), P1 (125 kg SP-36 ha^{-1}), dan P2 (150 kg SP-36 ha^{-1}) tidak berbeda nyata satu sama lain dan menghasilkan pertumbuhan jumlah daun yang lebih banyak dibandingkan dengan perlakuan kontrol (P0). Hal ini diduga disebabkan karena ketersediaan unsur P yang tinggi dapat mempercepat laju pembelahan dan diferensiasi sel pada jaringan meristem pucuk yaitu tempat primordia daun dibentuk. Menurut Nisfuriah *et al*. (2020) fosfor adalah pemicu utama dalam transfer energi seluler, sehingga dapat berperan dalam meningkatkan laju kemunculan daun, dan mendorong luas permukaan daun secara keseluruhan. Penambahan jumlah daun juga didorong oleh perkembangan sistem perakaran yang optimal akibat pasokan P yang memadai, sehingga akar yang responsif mampu menyerap air dan unsur hara pelengkap secara maksimal dan mampu merangsang pembentukan klorofil dan protein daun. Menurut Aswiguna *et al*. (2022) pupuk fosfor yang optimal sangat penting untuk menjaga keseimbangan pertumbuhan

organ atas (tajuk) dan bawah (akar) tanaman dengan jumlah pasokan P yang mencukupi kebutuhan rizosfer dapat memperbanyak jumlah buku batang dan meningkatkan jumlah daun yang terbentuk sebagai organ penangkap cahaya matahari.

4.10. Indeks Kehijauan Daun 70 HST

Berdasarkan hasil analisis ragam pada Lampiran 11 menunjukkan bahwa perlakuan dosis pupuk fosfor berbeda nyata terhadap parameter indeks kehijauan daun 70 HST. Perlakuan jenis biochar dan interaksi antara jenis biochar dengan dosis pupuk fosfor tidak berbeda nyata terhadap parameter indeks kehijauan daun 70 HST. Hasil analisis indeks kehijauan daun 70 HST akibat faktor jenis biochar dan dosis pupuk fosfor disajikan pada Tabel 9.

Tabel 9. Pengaruh Jenis Biochar dan Dosis Pupuk Fosfor Terhadap Indeks Kehijauan Daun 70 HST.

Biochar	Pupuk Fosfor (kg SP-36 ha^{-1})				Rata-rata
	0	125	150	175	
	---------- (kehijauan daun) ----------				
Kontrol	39,40	45,60	52,60	55,00	48,15
Biochar Sekam Padi	43,93	52,07	54,90	48,50	49,85
Biochar Batang Singkong	39,93	56,03	51,37	50,40	49,43
Biochar Tongkol Jagung	44,47	54,87	54,17	57,63	52,78
Rata-rata	$41,93^{b}$	$52,14^{a}$	$53,26^{a}$	$52,88^{a}$	50,05

Superskrip berbeda pada baris rata-rata menunjukkan perbedaan nyata (P<0,05)

Berdasarkan Tabel 9 dapat diketahui bahwa perlakuan jenis biochar menunjukkan tidak berbeda nyata terhadap parameter indeks kehijauan daun 70 HST karena kemampuan biochar dalam melepaskan hara bawaan atau menahan nitrogen di dalam tanah masih berada pada tingkat keefektifan yang setara di semua

perlakuan jenis biochar, sehingga menghasilkan warna hijau daun yang seragam. Menurut Widyantika dan Prijono (2019) biochar berperan sebagai pembenah fisik tanah dalam jangka panjang daripada sebagai sumber hara nitrogen instan untuk pembentukan klorofil daun, sehingga perlakuan biochar tunggal membutuhkan pengayaan dari unsur hara lain yang berasal dari pupuk organik atau anorganik lainnya. Sebelum biochar mengalami proses karboksilasi, karakteristik kimia rizosfer di setiap perlakuan jenis biochar belum terdiferensiasi dengan cukup kuat untuk mengubah laju penyerapan hara pembentuk klorofil oleh akar tanaman. Menurut Sholihah *et al*. (2025) dampak biochar terhadap pasokan nutrisi tanaman sangat ditentukan oleh tingkat kematangan interaksinya dengan matriks tanah untuk memperlihatkan perbedaan yang signifikan terhadap status hara daun maupun kerapatan klorofil (kehijauan daun).

Perlakuan dosis pupuk fosfor menunjukkan berbeda nyata terhadap parameter indeks kehijauan daun 70 HST. Perlakuan P2 (150 kg SP-36 ha^{-1}), P3 (175 kg SP-36 ha^{-1}), dan P1 (125 kg SP-36 ha^{-1}) menghasilkan nilai kehijauan lebih tinggi dibandingkan P0 (0 kg SP-36 ha^{-1}) dan tidak berbeda nyata satu sama lain. Hal ini diduga disebabkan oleh pengaruh P terhadap kehijauan daun yang kemungkinan bersifat tidak langsung melalui dukungan terhadap metabolisme energi dan perkembangan akar, karena kandungan klorofil maupun N daun tidak diukur secara langsung. Menurut Sholihah *et al*. (2025) kecukupan hara fosfor sangat krusial untuk menjaga struktur kloroplas dan kelancaran siklus transfer energi selama fotosintesis, sehingga secara tidak langsung dapat mendukung sintesis protein fungsional di daun, yang mampu mempercepat pembentukan dan stabilitas pigmen

klorofil pembentuk warna hijau daun. Pemberian dosis pupuk P yang memadai juga dapat memicu perkembangan sistem perakaran yang luas dan aktif. Menurut Melati *et al*. (2020) pupuk fosfor yang tepat pada tanah dengan kapasitas fiksasi tinggi sangat penting untuk mengoptimalkan efisiensi penyerapan nutrisi secara keseluruhan, sehingga bagian akar tanaman dapat meningkatkan kapasitas kerja akar dalam menyerap air dan hara penunjang vegetatif dengan baik.

4.11. Jumlah Tongkol per Tanaman (tongkol)

Berdasarkan hasil analisis ragam pada Lampiran 12 menunjukkan bahwa perlakuan jenis biochar, dosis pupuk fosfor serta interaksi antara jenis biochar dan dosis pupuk fosfor tidak berbeda nyata terhadap parameter jumlah tongkol per tanaman. Hasil analisis jumlah tongkol per tanaman akibat faktor jenis biochar dan dosis pupuk fosfor disajikan pada Tabel 10.

Tabel 10. Pengaruh Jenis Biochar dan Dosis Pupuk Fosfor Terhadap Jumlah Tongkol per Tanaman.

Biochar	Pupuk Fosfor (kg SP-36 ha^{-1})				Rata-rata
	0	125	150	175	
	---------- (tongkol) ----------				
Kontrol	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Biochar Sekam Padi	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Biochar Batang Singkong	1,00	1,00	1,00	1,33	1,08
Biochar Tongkol Jagung	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Rata-rata	1,00	1,00	1,00	1,08	1,02

Berdasarkan Tabel 10 dapat diketahui bahwa perlakuan jenis biochar berpengaruh tidak nyata terhadap parameter jumlah tongkol per tanaman. Rata-rata jumlah tongkol yang dihasilkan pada penelitian ini sangat seragam pada seluruh

unit percobaan, yaitu berkisar antara 1,00-1,08 tongkol/tanaman. Variasi data yang sangat rendah ini membatasi kemampuan analisis untuk mendeteksi perbedaan perlakuan, sehingga tidak adanya pengaruh nyata lebih mencerminkan keseragaman respon jumlah tongkol pada kondisi penelitian. Hal ini diduga disebabkan karena secara fisiologis, pembentukan jumlah tongkol per tanaman pada dasarnya dipengaruhi oleh sifat genetik dari varietas jagung yang digunakan, sehingga pembentukan tongkol tanaman akan kembali mengikuti batas ekspresi genetik dasarnya. Menurut Mardiyan *et al*. (2024) aplikasi biochar tanpa pengayaan nutrisi atau kombinasi pupuk yang tepat tidak mampu mengubah parameter organ reproduktif utama yang dikontrol secara genetik pada musim tanam pertama, sehingga biochar membutuhkan masa inkubasi dan interaksi biologis yang lama di dalam tanah untuk memengaruhi inisiasi organ reproduktif. Terbentuk dan berkembangnya tongkol sekunder juga sangat bergantung pada tingkat kompetisi antarorgan di dalam tanaman. Menurut Putri *et al*. (2017) jika kondisi kesuburan kimiawi tanah akibat pemberian berbagai jenis biochar berada dalam taraf moderat yang setara, asimilat hasil fotosintesis akan diprioritaskan penuh untuk membesarkan tongkol utama (*primary sink*) daripada memicu perkembangan tongkol sekunder.

Perlakuan dosis pupuk fosfor juga berpengaruh tidak nyata terhadap parameter jumlah tongkol per tanaman. Hal ini diduga disebabkan karena ketika pemberian dosis pupuk P yang ditingkatkan melebihi batas kebutuhan minimum inisiasi organ, maka tambahan energi dan hara P tidak dialokasikan untuk memperbanyak jumlah tongkol, melainkan untuk mengoptimalkan ukuran,

pengisian biji, dan bobot dari tongkol utama yang sudah ada. Menurut Saragih *et al*. (2022) ketersediaan hara makro seperti fosfor yang mencukupi tidak selalu menambah bagian pada organ reproduktif, tetapi lebih berfokus pada peningkatan efisiensi organ *sink* yang sudah terbentuk. Inisiasi dan pembentukan tongkol sekunder memerlukan pasokan hara makro serta dorongan fisiologis yang melampaui potensi genetik dasarnya. Menurut Nurida *et al*. (2017) pupuk fosfor berperan penting dalam meningkatkan kualitas dan kematangan organ reproduktif, namun penambahan dosis P di atas kecukupan tanah berfungsi untuk mengoptimalkan kualitas serta kematangan tongkol utama.

4.12. Bobot Basah Tongkol per Tanaman

Berdasarkan hasil analisis ragam pada Lampiran 13 menunjukkan bahwa perlakuan dosis pupuk fosfor berbeda nyata terhadap parameter bobot basah tongkol per tanaman. Perlakuan jenis biochar dan interaksi antara jenis biochar dengan dosis pupuk fosfor tidak berbeda nyata terhadap parameter bobot basah tongkol per tanaman. Hasil analisis bobot basah tongkol per tanaman akibat faktor jenis biochar dan dosis pupuk fosfor disajikan pada Tabel 11.

Tabel 11. Pengaruh Jenis Biochar dan Dosis Pupuk Fosfor Terhadap Bobot Basah Tongkol per Tanaman.

Biochar	Pupuk Fosfor (kg SP-36 ha^{-1})				Rata-rata
	0	125	150	175	
	---------- (g) ----------				
Kontrol	153,77	160,25	170,74	181,27	166,51
Biochar Sekam Padi	154,19	164,17	175,93	188,03	170,58
Biochar Batang Singkong	143,82	159,94	176,28	187,42	166,86
Biochar Tongkol Jagung	149,67	165,34	175,52	187,68	169,55
Rata-rata	150,36^{d}	162,43^{c}	174,62^{b}	186,10^{a}	168,38

Superskrip berbeda pada baris rata-rata menunjukkan perbedaan nyata (P<0,05)

Berdasarkan Tabel 11 dapat diketahui bahwa perlakuan jenis biochar menunjukkan tidak berbeda nyata terhadap parameter bobot basah tongkol per tanaman. Hal ini diduga disebabkan karena kondisi pori-pori dan permukaan dari berbagai jenis biochar yang belum mengalami pelapukan biologi dan kimia oleh mikroba tanah, sehingga kapasitas pelepasan hara secara langsung untuk menyuplai pembesaran tongkol pada seluruh perlakuan jenis biochar berada pada tingkat yang sama. Menurut Saragih *et al*. (2022) biochar yang baru diaplikasikan masih memiliki tingkat mineralisasi yang sangat lambat sehingga sifat biochar masih tergolong pasif dalam melepaskan unsur hara esensial ke larutan tanah di dalam siklus pertumbuhan tanaman. Tidak adanya perbedaan retensi air dan pasokan hara yang tajam di daerah perakaran selama fase reproduktif, arus translokasi air dan asimilat menuju organ tongkol berjalan dengan tingkat efisiensi yang seragam. Menurut Verdiana *et al*. (2016) jenis bahan baku biochar sering memberikan pengaruh yang relatif sama terhadap bobot komponen hasil panen jika tidak terdapat dorongan pelepasan cepat dari unsur hara lainnya.

Perlakuan dosis pupuk fosfor menunjukkan pengaruh yang berbeda nyata terhadap parameter bobot basah tongkol per tanaman, dengan respon peningkatan berjenjang (P0<P1<P2<P3). Bobot basah tongkol tertinggi dicapai pada perlakuan P3 (175 kg SP-36 ha^{-1}), lalu diikuti dengan perlakuan P2 (150 kg SP-36 ha^{-1}), P1 (125 kg SP-36 ha^{-1}), dan terendah pada P0 (0 kg SP-36 ha^{-1}). Hal ini diduga disebabkan karena fosfor merupakan penyusun senyawa transfer energi seperti ATP yang mampu memicu pembelahan dan pembesaran sel-sel tongkol, sehingga tongkol berkembang lebih padat dan menampung cairan sel yang nyata lebih berat

saat pengisian biji. Menurut Hawayanti *et al*. (2020) ketersediaan unsur hara P yang optimal dapat meningkatkan energi seluler untuk pembentukan struktur organ reproduktif yang lebih besar dan berbobot. Pola meningkatnya hasil biomassa tongkol pada penelitian ini searah dengan peningkatan P-tersedia pada perlakuan dosis P, meskipun hubungan kausal antarparameter tidak diuji secara langsung. Menurut Firnia (2018) pasokan P yang memadai di daerah sekitar rizosfer tanah dapat mendukung akar dalam melakukan proses penyerapan nutrisi dan air untuk memaksimalkan pertumbuhan serta bobot basah organ generatif tanaman.

4.13. Panjang Tongkol

Berdasarkan hasil analisis ragam pada Lampiran 14 menunjukkan bahwa perlakuan jenis biochar, dosis pupuk fosfor serta interaksi antara jenis biochar dan dosis pupuk fosfor tidak berbeda nyata terhadap parameter panjang tongkol. Hasil analisis panjang tongkol akibat faktor jenis biochar dan dosis pupuk fosfor disajikan pada Tabel 12.

Tabel 12. Pengaruh Jenis Biochar dan Dosis Pupuk Fosfor Terhadap Panjang Tongkol.

Biochar	Pupuk Fosfor (kg SP-36 ha^{-1})				Rata-rata
	0	125	150	175	
	---------- (cm) ----------				
Kontrol	20,67	20,67	20,67	20,33	20,58
Biochar Sekam Padi	21,33	20,33	21,00	22,00	21,17
Biochar Batang Singkong	19,67	18,67	20,00	21,33	19,92
Biochar Tongkol Jagung	20,33	21,67	23,33	21,00	21,58
Rata-rata	20,50	20,33	21,25	21,17	20,81

Berdasarkan Tabel 12 dapat diketahui bahwa perlakuan jenis biochar menunjukkan tidak berbeda nyata terhadap parameter panjang tongkol. Hal ini diduga disebabkan karena bahan baku pembentuk biochar yang diaplikasikan belum mampu memberikan perbedaan stimulasi terhadap pemanjangan sumbu tongkol selama fase perkembangan organ reproduktif. Menurut Putri *et al*. (2017) pengaplikasian biochar terhadap tanah dan tanaman membutuhkan suplai unsur hara makro siap serap yang tinggi yang mampu berperan dalam pembentukan dinding sel baru dan sintesis jaringan serta untuk memicu pemanjangan sumbu tongkol tanaman mengikuti batas potensi genetik dasarnya. Perlakuan jenis biochar pada proses pemanjangan tongkol juga membutuhkan masa pembentukan yang lama, sehingga laju pembentangan sel pada organ tongkol menghasilkan rata-rata panjang yang seragam. Menurut Pratama *et al*. (2024) variasi bahan baku biochar memberikan perbaikan pada sifat fisik dan kimia tanah dalam jangka yang panjang, namun memberikan respon yang relatif berbeda terhadap parameter ukuran hasil tanaman, sehingga selama periode kritis pemanjangan tongkol, perlakuan belum menghasilkan perubahan panjang tongkol yang dapat dibedakan secara statistik.

Perlakuan dosis pupuk fosfor menunjukkan tidak berbeda nyata terhadap parameter panjang tongkol. Hal ini diduga disebabkan karena dimensi panjang tongkol dikontrol kuat oleh faktor genetik tanaman (varietas) dan ditentukan pada fase vegetatif akhir (inisiasi kelobot dan calon tongkol), sehingga tambahan fosfor yang diserap tanaman pada fase generatif lebih banyak dialokasikan untuk memacu pengisian biji. Menurut Sirait *et al*. (2020) sifat morfologi seperti panjang organ reproduktif berada di bawah kendali kontrol genetik yang relatif ketat, sehingga

ketika ambang batas ketersediaan hara P untuk pembentukan struktur sel telah tercapai, maka penambahan P tidak lagi meningkatkan dimensi panjang organ. Tingkat penyerapan hara oleh akar tanaman yang berada pada taraf efisiensi yang konstan tidak akan memicu diferensiasi pembentangan sel pada sumbu tongkol antar perlakuan. Menurut Wahyudin *et al*. (2017) peningkatan dosis P pada setiap rentang tertentu belu dapat dipastikan mampu menghasilkan perubahan panjang tongkol yang dapat dibedakan secara statistik.

4.14. Diameter Tongkol

Berdasarkan hasil analisis ragam pada Lampiran 15 menunjukkan bahwa perlakuan jenis biochar, dosis pupuk fosfor serta interaksi antara jenis biochar dan dosis pupuk fosfor tidak berbeda nyata terhadap parameter diameter tongkol. Hasil analisis diameter tongkol akibat faktor jenis biochar dan dosis pupuk fosfor disajikan pada Tabel 13.

Tabel 13. Pengaruh Jenis Biochar dan Dosis Pupuk Fosfor Terhadap Diameter Tongkol.

Biochar	Pupuk Fosfor (kg SP-36 ha^{-1})				Rata-rata
	0	125	150	175	
	---------- (cm) ----------				
Kontrol	3,88	3,69	3,88	4,18	3,91
Biochar Sekam Padi	3,98	4,16	4,35	3,83	4,08
Biochar Batang Singkong	3,90	4,02	4,02	4,10	4,01
Biochar Tongkol Jagung	3,97	4,24	4,09	4,12	4,10
Rata-rata	3,93	4,03	4,09	4,06	4,03

Berdasarkan Tabel 13 dapat diketahui bahwa faktor jenis biochar dan dosis pupuk fosfor tidak berbeda nyata terhadap diameter tongkol. Hal ini diduga

disebabkan karena perbedaan karakteristik biochar yang digunakan belum mampu meningkatkan penyerapan unsur hara secara optimal selama fase pembentukan tongkol. Menurut Tarigan dan Nelvia (2020) biochar hanya mengandung sedikit unsur hara yang dapat diserap oleh tanaman karena fungsi utamanya adalah sebagai pembenah tanah dan bukan sebagai sumber hara tanaman. Biochar umumnya memerlukan waktu inkubasi yang cukup lama agar proses pembentukan gugus fungsi bermuatan negatif dan pelapukan dapat terjadi secara optimal. Menurut Janu dan Mutiara (2021) proses inkubasi di dalam tanah memungkinkan biochar teroksidasi dan berinteraksi dengan matriks tanah, sehingga mampu menyediakan hara bagi pertumbuhan serta pembesaran organ reproduktif tanaman.

Perlakuan dosis pupuk fosfor tidak berbeda nyata terhadap parameter diameter tongkol. Hal ini diduga disebabkan karena diameter tongkol kurang responsif terhadap perlakuan dibandingkan beberapa komponen hasil lainnya, sehingga peningkatan dosis pupuk belum cukup menghasilkan perbedaan diameter tongkol secara statistik. Menurut Aswiguna *et al*. (2022) efisiensi pemupukan fosfor pada tanaman semusim umumnya sangat rendah karena sebagian besar P yang diaplikasikan langsung mengalami retensi atau fiksasi oleh mineral tanah, sehingga tidak tersedia bagi tanaman selama fase pertumbuhan kritis. Pertumbuhan diameter tongkol juga bergantung pada kemampuan tanaman dalam mentranslokasikan hasil fotosintesis. Menurut Rosalina dan Nirwanto (2021) saat serapan unsur hara makro seperti fosfor telah mencapai ambang batas kecukupan untuk mendukung proses metabolisme dasar tanaman, penambahan dosis hara tidak lagi memberikan respons pertumbuhan fisik yang nyata, sehingga perkembangan

organ reproduktif akan lebih didominasi oleh kontrol genetik setiap varietas.

4.15. Bobot Segar Tanaman

Berdasarkan hasil analisis ragam pada Lampiran 16 menunjukkan bahwa perlakuan jenis biochar dan dosis pupuk fosfor berbeda nyata terhadap parameter bobot segar tanaman. Interaksi antara jenis biochar dengan dosis pupuk fosfor tidak berbeda nyata terhadap parameter bobot segar tanaman. Hasil analisis bobot segar tanaman akibat faktor jenis biochar dan dosis pupuk fosfor disajikan pada Tabel 14.

Tabel 14. Pengaruh Jenis Biochar dan Dosis Pupuk Fosfor Terhadap Bobot Segar Tanaman.

Biochar	Pupuk Fosfor (kg SP-36 ha^{-1})				Rata-rata
	0	125	150	175	
	---------- (g) ----------				
Kontrol	301,92	365,34	385,97	384,60	359,46^{b}
Biochar Sekam Padi	364,45	371,87	422,60	461,19	405,03^{a}
Biochar Batang Singkong	338,66	377,44	398,31	435,12	387,38^{ab}
Biochar Tongkol Jagung	336,65	386,33	412,42	428,84	391,06^{a}
Rata-rata	335,42^{c}	375,25^{b}	404,83^{a}	427,44^{a}	385,73

Superskrip berbeda pada baris dan kolom rata-rata menunjukkan perbedaan nyata ($P<0,05$)

Berdasarkan Tabel 14 dapat diketahui bahwa perlakuan jenis biochar menunjukkan berbeda nyata terhadap parameter bobot segar tanaman. Perlakuan B1 (biochar sekam padi) dan B3 (biochar tongkol jagung) menghasilkan bobot segar tanaman tertinggi tetapi tidak berbeda nyata satu sama lain, lalu B2 (biochar batang singkong) berada pada kelompok antara (ab) sehingga tidak berbeda nyata dari B1, B3, serta B0. Hal ini diduga disebabkan karena perbedaan bobot segar antarjenis biochar menunjukkan bahwa sifat biochar dapat memengaruhi kondisi edia dan pertumbuhan tanaman, meskipun porositas, luas permukaan, dan retensi

air biochar tidak diukur pada penelitian ini. Menurut Putri *et al*. (2017) variasi jenis bahan baku biochar memiliki pengaruh yang baik terhadap sifat fisik tanah yang secara langsung mampu mendukung penyerapan air untuk meningkatkan bobot segar tanaman. Beberapa jenis biochar tertentu diduga memiliki kandungan unsur hara bawaan yang lebih tinggi dibandingkan jenis lainnya, sehingga saat diaplikasikan pelepasan mineral dari jenis biochar yang kaya nutrisi ini mampu menstimulasi perkembangan volume akar secara lebih masif. Menurut Sirait *et al*. (2020) jenis biochar yang mampu menekan fiksasi hara dan melepaskan kation bermanfaat secara lebih efektif akan menghasilkan peningkatan serapan hara yang lebih tinggi dan akan terlihat dari peningkatan bobot basah biomassa tanaman.

Perlakuan dosis pupuk fosfor menunjukkan berbeda nyata terhadap parameter bobot segar tanaman. Perlakuan P3 (175 kg SP-36 ha^{-1}) dan P2 (150 kg SP-36 ha^{-1}) menghasilkan bobot segar tanaman tertinggi dan tidak berbeda nyata satu sama lain, serta keduanya lebih tinggi daripada P1 (125 kg SP-36 ha^{-1}) dan P0 (0 kg SP-36 ha^{-1}). Hal ini diduga disebabkan karena fosfor berperan sebagai pemasok energi (ATP) yang dibutuhkan dalam proses pembelahan dan pembesaran sel-sel baru pada batang dan daun sehingga suplai energi ini memungkinkan sel-sel tanaman dapat mengalami ekspansi volume secara maksimal. Menurut Aswiguna *et al*. (2022) ketersediaan fosfor yang optimal dapat mendukung transfer energi, pembelahan sel, perkembangan akar, dan metabolisme yang berkontribusi pada pembentukan biomassa segar tanaman. Peningkatan dosis pupuk P dapat menstimulasi pertumbuhan sistem perakaran yang lebih luas dan dalam sehingga mempermudah tanaman untuk mengabsorpsi air serta unsur hara makro lainnya. Menurut

Hawayanti *et al*. (2020) peningkatan serapan air dan nutrisi yang difasilitasi oleh perkembangan akar yang responsif terhadap fosfor secara langsung dapat memperbanyak cairan sel dan memperluas tajuk pada tanaman.

4.16. Bobot Kering Tanaman

Berdasarkan hasil analisis ragam pada Lampiran 17 menunjukkan bahwa perlakuan jenis biochar dan dosis pupuk fosfor berbeda nyata terhadap parameter bobot kering tanaman. Interaksi antara jenis biochar dengan dosis pupuk fosfor tidak berbeda nyata terhadap parameter bobot kering tanaman. Hasil analisis bobot kering tanaman akibat faktor jenis biochar dan dosis pupuk fosfor disajikan pada Tabel 15.

Tabel 15. Pengaruh Jenis Biochar dan Dosis Pupuk Fosfor Terhadap Bobot Kering Tanaman.

Biochar	Pupuk Fosfor (kg SP-36 ha^{-1})				Rata-rata
	0	125	150	175	
	---------- (g) ----------				
Kontrol	79,18	89,17	85,86	85,59	$84,95^{b}$
Biochar Sekam Padi	82,31	90,31	92,02	104,08	$92,18^{a}$
Biochar Batang Singkong	79,96	84,89	85,13	97,13	$86,78^{ab}$
Biochar Tongkol Jagung	78,91	95,78	95,33	98,53	$92,14^{a}$
Rata-rata	$80,09^{c}$	$90,04^{ab}$	$89,59^{b}$	$96,33^{a}$	89,01

Superskrip berbeda pada baris dan kolom rata-rata menunjukkan perbedaan nyata ($P<0,05$)

Berdasarkan Tabel 15 dapat diketahui bahwa perlakuan jenis biochar menunjukkan berbeda nyata terhadap parameter bobot kering tanaman. Perlakuan B1 (biochar sekam padi) dan B3 (biochar tongkol jagung) menghasilkan rataan bobot kering tanaman lebh tinggi daripada B0 (kontrol), sedangkan perlakuan B2 (biochar batang singkong) berada pada kelompok antara ab. Hal ini diduga

disebabkan karena karakteristik fisikokimia biochar yang kemungkinan mampu menyerap serta menahan kation-kation hara esensial di dalam zona rizosfer dari pencucian tanah. Menurut Widyantika dan Prijono (2019) peningkatan retensi hara oleh jenis biochar tertentu dapat memberikan pasokan nutrisi yang berkelanjutan bagi tanaman, yang secara langsung berkorelasi positif dengan akumulasi bobot kering tanaman. Jenis biochar yang kaya akan mineral basa mampu menetralkan toksisitas Al^{3+} di dalam larutan tanah secara lebih aktif. Menurut Melati *et al*. (2020) variasi bahan baku dan suhu pirolisis biochar juga dapat menentukan sifat fisikokimia permukaan karbon yang terbentuk, yang akan berdampak langsung terhadap kapasitas perbaikan struktur tanah dan stimulasi pertumbuhan akar, sehingga dapat memicu laju asimilasi karbon yang lebih tinggi dan mampu meningkatkan bobot kering biomassa tanaman.

Perlakuan dosis pupuk fosfor menunjukkan berbeda nyata terhadap parameter bobot kering tanaman. Perlakuan P3 (175 kg SP-36 ha^{-1}) menghasilkan rerata bobot kering tanaman tertinggi yang berbeda nyata dengan P2 (150 kg SP-36 ha^{-1}) dan P0 (0 kg SP-36 ha^{-1}), tetapi tidak berbeda nyata dengan P1 (125 kg SP-36 ha^{-1}). Hal ini diduga disebabkan karena fosfor merupakan komponen struktur penting dari ATP yang berperan sebagai pemasok energi tanaman dan metabolisme yang diperlukan dalam fotosintesis serta akumulasi hasil asimilasi menjadi biomassa kering. Menurut Nisfuriah *et al*. (2020) fosfor yang diserap tanaman dalam bentuk fosfat berperan dalam ATP, asam nukleat, dan fosfolipid, sehingga mendukung metabolisme dan akumulasi biomassa kering. Sistem perakaran yang kokoh dan luas juga dapat meningkatkan efisiensi penyerapan unsur hara sehingga proses

pembentukan bahan kering berjalan secara maksimal. Menurut Wahyudin *et al*. (2017) peningkatan ketersediaan hara di zona perakaran dapat memicu pertumbuhan akar yang responsif, yang dapat mendukung efisiensi serapan nutrisi dan menghasilkan peningkatan bobot kering biomassa.

4.17. Bobot Basah Biji

Berdasarkan hasil analisis ragam pada Lampiran 18 menunjukkan bahwa perlakuan dosis pupuk fosfor berbeda nyata terhadap parameter bobot basah biji. Perlakuan jenis biochar dan interaksi antara jenis biochar dengan dosis pupuk fosfor tidak berbeda nyata terhadap parameter bobot basah biji. Hasil analisis bobot basah biji akibat faktor jenis biochar dan dosis pupuk fosfor disajikan pada Tabel 16.

Tabel 16. Pengaruh Jenis Biochar dan Dosis Pupuk Fosfor Terhadap Bobot Basah Biji.

Biochar	Pupuk Fosfor (kg SP-36 ha^{-1})				Rata-rata
	0	125	150	175	
	---------- (g) ----------				
Kontrol	62,61	78,30	85,10	86,07	78,02
Biochar Sekam Padi	64,40	79,71	84,17	86,36	78,66
Biochar Batang Singkong	64,71	79,45	83,67	88,87	79,17
Biochar Tongkol Jagung	63,34	75,99	85,35	88,63	78,33
Rata-rata	$63,77^{d}$	$78,36^{c}$	$84,57^{b}$	$87,48^{a}$	78,55

Superskrip berbeda pada baris yang sama menunjukkan perbedaan nyata ($P<0,05$)

Berdasarkan Tabel 16 dapat diketahui bahwa perlakuan jenis biochar menunjukkan tidak berbeda nyata terhadap parameter bobot basah biji. Hal ini diduga disebabkan karena variasi bahan baku pembentuk biochar yang diaplikasikan belum memberikan dorongan diferensial yang kontras terhadap akumulasi cairan sel, laju pengisian biji, maupun pembentukan biomassa basah

organ reproduktif tanaman. Menurut Putriani *et al*. (2022) proses aplikasi biochar harus diberikan kombinasi unsur hara lain untuk memberikan pengaruh yang berbeda secara nyata terhadap komponen hasil generatif pada musim tanam pertama. Penyerapan air oleh tanaman yang memengaruhi kadar basah jaringan biji sangat ditentukan oleh perbaikan struktur dan porositas tanah di zona rizosfer. Menurut Pratama *et al*. (2024) setiap jenis bahan baku biochar harus memiliki luas permukaan dan struktur pori-pori bawaan yang berbeda, sehingga peningkatan kapasitas retensi air tanah akan membutuhkan interaksi biologis antara tanah dan biochar dalam jangka waktu yang lebih panjang.

Perlakuan dosis pupuk fosfor menunjukkan berbeda nyata terhadap parameter bobot basah biji. Perlakuan P3 (175 kg SP-36 ha^{-1}) menghasilkan bobot basah biji tertinggi dan berbeda nyata dengan perlakuan P2 (150 kg SP-36 ha^{-1}), P1 (125 kg SP-36 ha^{-1}), dan P0 (0 kg SP-36 ha^{-1}). Hal ini diduga disebabkan karena unsur hara fosfor memegang peranan sentral sebagai komponen penyusun molekul *Adenosine Triphosphate* (ATP) yang bertindak sebagai sumber energi seluler bagi tanaman. Menurut Melati *et al*. (2020) fosfor berperan sangat krusial dalam memfasilitasi translokasi karbohidrat dari organ tempat sintesis (*source*) menuju organ penampung generatif (*sink*), sehingga ketersediaan hara P yang optimal dapat merangsang efisiensi transpor energi seluler untuk pembentukan jaringan biji yang lebih besar dan berbobot. Kecukupan P pada dosis yang diuji juga mendukung proses pembentukan dan pengisian biji, namun mekanisme yang melibatkan translokasi fotoasimilat dan status air tanaman bersifat interpretatif dan tidak diukur secara langsung. Menurut Putriani *et al*. (2022) proses pemberian pupuk fosfor

harus sesuai dan mencukupi pada tanah agar dapat berpotensi terhadap retensi tinggi dalam mempertahankan konsentrasi P larutan pada taraf ideal sepanjang siklus hidup tanaman dalam menjangkau penyerapan air di dalam tanah.

4.18. Bobot Kering Biji

Berdasarkan hasil analisis ragam pada Lampiran 19 menunjukkan bahwa perlakuan dosis pupuk fosfor berbeda nyata terhadap parameter bobot kering biji. Perlakuan jenis biochar dan interaksi antara jenis biochar dengan dosis pupuk fosfor tidak berbeda nyata terhadap parameter bobot kering biji. Hasil analisis bobot kering biji akibat faktor jenis biochar dan dosis pupuk fosfor disajikan pada Tabel 17.

Tabel 17. Pengaruh Jenis Biochar dan Dosis Pupuk Fosfor Terhadap Bobot Kering Biji.

Biochar	Pupuk Fosfor (kg SP-36 ha^{-1})				Rata-rata
	0	125	150	175	
	---------- (g) ----------				
Kontrol	20,60	22,75	22,19	22,95	22,12
Biochar Sekam Padi	20,37	22,93	24,12	21,14	22,14
Biochar Batang Singkong	20,59	20,48	21,37	23,66	21,53
Biochar Tongkol Jagung	20,83	23,25	22,30	23,95	22,58
Rata-rata	$20,60^{b}$	$22,35^{a}$	$22,50^{a}$	$22,93^{a}$	22,09

Superskrip berbeda pada baris rata-rata menunjukkan perbedaan nyata (P<0,05)

Berdasarkan Tabel 17 dapat diketahui bahwa perlakuan jenis biochar menunjukkan tidak berbeda nyata terhadap parameter bobot kering biji. Hal ini diduga disebabkan karena perbedaan bahan baku biochar yang digunakan belum cukup meningkatkan ketersediaan unsur hara yang berperan langsung dalam proses pengisian biji selama satu musim tanam. Menurut Sirait *et al*. (2020) biochar lebih

berfungsi sebagai pembenah tanah yang mampu memperbaiki sifat fisik, kimia, biologi tanah melalui peningkatan kapasitas menahan air, kapasitas tukar kation, serta aktivitas mikroorganisme tanah, sedangkan pengaruhnya terhadap peningkatan hasil tanaman umumnya memerlukan waktu yang lebih lama. Jenis biochar dengan porositas dan luas permukaan yang tinggi mampu meningkatkan kapasitas menahan air dan aerasi tanah secara optimal, sehingga kelembaban tanah akan terjaga dengan baik di area perakaran untuk mencegah terjadinya stres air pada fase reproduktif. Menurut Kurniawan *et al*. (2016) tanah yang tidak mengalami stres air dapat mempertahankan bukaan stomata dan laju fotosintesis tetap tinggi, sehingga pengisian bahan kering ke dalam biji berlangsung maksimal tanpa mengalami pembentukan biji yang tidak terisi sempurna.

Perlakuan dosis pupuk fosfor berpengaruh nyata terhadap parameter bobot kering biji pada seluruh perlakuan dosis pupuk fosfor P3 (175 kg SP-36 ha^{-1}), P2 (150 kg SP-36 ha^{-1}), dan P1 (125 kg SP-36 ha^{-1}) menghasilkan bobot kering biji lebih tinggi secara signifikan dibandingkan perlakuan kontrol P0, tetapi antara P1, P2, dan P3 menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata satu sama lain. Hal ini diduga disebabkan karena fosfor mengaktifkan enzim-enzim yang mengubah gula sederhana menjadi molekul pati yang padat di dalam endosperm biji, sehingga biji yang dipanen memiliki bobot kering yang nyata lebih berat. Menurut Melati *et al*. (2020) fosfor berperan penting dalam regulasi sintesis pati dan translokasi fotoasimilat, sehingga secara langsung tanaman mampu meningkatkan bahan kering pada biji. Ketersediaan P yang konsisten ini menjaga fungsi perakaran tetap optimal dalam menyerap hara makro pendukung lain. Menurut Dolsenyawi *et al*.

(2026) pemupukan fosfor dengan dosis yang mencukupi diduga mampu mengoptimalkan laju fotosintesis dan translokasi fotoasimilat menuju organ reproduktif, sehingga akumulasi bahan kering pada biji maksimal.

4.19. Kemanisan Biji

Berdasarkan hasil analisis ragam pada Lampiran 20 menunjukkan bahwa perlakuan jenis biochar, dosis pupuk fosfor serta interaksi antara jenis biochar dan dosis pupuk fosfor tidak berbeda nyata terhadap parameter kemanisan biji. Hasil analisis kemanisan biji akibat faktor jenis biochar dan dosis pupuk fosfor disajikan pada Tabel 18.

Tabel 18. Pengaruh Jenis Biochar dan Dosis Pupuk Fosfor Terhadap Kemanisan Biji.

Biochar	Pupuk Fosfor (kg SP-36 ha^{-1})				Rata-rata
	0	125	150	175	
	---------- (°Brix) ----------				
Kontrol	8,67	8,33	9,00	8,67	8,67
Biochar Sekam Padi	8,67	10,00	9,00	9,33	9,25
Biochar Batang Singkong	8,33	9,00	10,00	10,00	9,33
Biochar Tongkol Jagung	8,67	8,33	9,67	10,67	9,33
Rata-rata	8,58	8,92	9,42	9,67	9,15

Berdasarkan Tabel 18 dapat diketahui bahwa perlakuan jenis biochar menunjukkan tidak berbeda nyata terhadap parameter kemanisan biji. Hal ini diduga disebabkan karena efek perbaikan tanah oleh biochar bersifat jangka panjang, sehingga dampaknya belum terlihat secara signifikan dalam satu musim tanam pendek. Menurut Shalsabila *et al*. (2017) biochar lebih tahan terhadap dekomposisi dan stabil dalam tanah, sehingga memiliki pengaruh dalam jangka

waktu yang panjang terhadap perbaikan kualitas kesuburan tanah. Selain itu, biochar lebih berfungsi sebagai pembenah tanah dalam memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah. Menurut Saragih *et al*. (2022) biochar memiliki kandungan unsur hara yang relatif rendah, sehingga tidak berperan sebagai sumber hara utama bagi tanaman.

Perlakuan dosis pupuk fosfor tidak berbeda nyata terhadap parameter kemanisan biji. Hal ini diduga disebabkan karena peran utama pupuk fosfor lebih berkaitan dengan perkembangan sistem perakaran, pembelahan sel, transfer energi dalam bentuk ATP, serta pembentukan bunga dan biji. Kadar kemanisan (gula) pada biji lebih dipengaruhi oleh kecukupan unsur hara makro lainnya seperti kalium. Menurut Bustaman *et al*. (2026) unsur hara kalium menentukan tingkat kemanisan buah atau biji dengan mengubah karbohidrat menjadi gula serta berperan dalam pembentukan glukosa dan pati serta translokasi gula. Kadar kemanisan buah atau biji mampu dihasilkan dari bantuan enzim melalui pemecahan karbohidrat. Menurut Solihin *et al*. (2019b) kalium berperan dala regulasi osotik dan transokasi hasil fotosintesis, sehingga secara fisiologis dapat berkaitan dengan akumulasi gula.

4.20. Serapan P Brangkasan

Berdasarkan hasil analisis ragam pada Lampiran 21 menunjukkan bahwa perlakuan dosis pupuk fosfor berbeda nyata terhadap parameter serapan P brangkasan. Perlakuan jenis biochar dan interaksi antara jenis biochar dengan dosis pupuk fosfor tidak berbeda nyata terhadap parameter serapan P brangkasan. Hasil analisis serapan P brangkasan akibat faktor jenis biochar dan dosis pupuk fosfor

disajikan pada Tabel 19.

Tabel 19. Pengaruh Jenis Biochar dan Dosis Pupuk Fosfor Terhadap Serapan P Brangkasan.

Biochar	Pupuk Fosfor (kg SP-36 ha^{-1})				Rata-rata
	0	125	150	175	
	---------- (mg/tanaman) ----------				
Kontrol	51,77	69,45	56,82	52,46	57,63
Biochar Sekam Padi	50,12	69,99	50,69	74,25	61,26
Biochar Batang Singkong	53,04	68,00	67,57	59,35	61,99
Biochar Tongkol Jagung	49,57	76,67	56,72	61,37	61,08
Rata-rata	$51,13^{b}$	$71,03^{a}$	$57,95^{b}$	$61,86^{ab}$	60,49

Superskrip berbeda pada baris rata-rata menunjukkan perbedaan nyata (P<0,05)

Berdasarkan Tabel 19 dapat diketahui bahwa perlakuan jenis biochar menunjukkan tidak berbeda nyata terhadap parameter serapan P brangkasan. Hal ini diduga disebabkan karena daya ikat (fiksasi) tanah masam yang sangat kuat jauh lebih dominan daripada kemampuan pelepasan hara dari masing-masing jenis biochar yang diberikan. Menurut Agviolita *et al*. (2021) tanah masam dengan kapasitas fiksasi tinggi, maka aplikasi biochar dalam jangka pendek sering gagal untuk mengubah status serapan hara tanaman, karena situs aktif biochar belum sepenuhnya teroksidasi untuk mampu berkompetisi dengan mineral liat tanah dalam menyerap logam pengikat fosfat. Pelepasan hara dari jenis biochar pada fase awal tanam berlangsung secara bertahap, sehingga belum memberikan pengaruh yang signifikan terhadap laju difusi fosfat. Menurut Rosnina *et al*. (2021) pergerakan hara dari biochar ke jaringan tanaman dikendalikan oleh interaksi zona rizosfer, sehingga kapasitas dalam meningkatkan konsentrasi P pada larutan tanah serta memfasilitasi laju difusi P masih terbatas dan bernilai relatif sama antar perlakuan.

Perlakuan dosis pupuk fosfor menunjukkan berbeda nyata terhadap parameter serapan P brangkasan. Perlakuan P1 (125 kg SP-36 ha^{-1}) menghasilkan serapan P brangkasan tinggi dari P0 (0 kg SP-36 ha^{-1}) dan P2 (150 kg SP-36 ha^{-1}), sedangkan P3 (175 kg SP-36 ha^{-1}) berada pada kelompok antara (ab), sehingga pola ini menunjukkan respon serapan yang tidak linier terhadap dosis P. Hal ini diduga disebabkan karena ketersediaan P di rizosfer, pertumbuhan akar, dan akumulasi P dalam biomassa, Penambahan pupuk P diduga meningkatkan fraksi P yang tersisa tersedia di dalam larutan tanah setelah sebagian ion fosfat memenuhi kompleks jerapan. Menurut Kaya (2018) penambahan pupuk fosfor dalam dosis yang optimal pada tanah masam diduga dapat meningkatkan fraksi P yang tersisa dalam bentuk tersedia, sehingga aktivitas ion P di dalam larutan tanah akan meningkat. Peningkatan serapan P brangkasan ini selaras dengan peningkatan biomassa kering tanaman dengan melalui translokasi unsur P dari pembuluh xilem menuju organ vegetatif atas seperti batang dan daun untuk mendukung proses pembelahan sel dan transfer energi (pembentukan ATP). Menurut Kaya (2018) serapan total hara oleh jaringan tajuk ditentukan oleh ketersediaan hara eksternal di zona perakaran dan kapasitas dorongan aliran massa serta transpirasi tanaman secara lebih luas, sehingga memacu akumulasi konsentrasi P jaringan.

4.21. Serapan P Biji

Berdasarkan hasil analisis ragam pada Lampiran 22 menunjukkan bahwa perlakuan dosis pupuk fosfor berbeda nyata terhadap parameter serapan P biji. Perlakuan jenis biochar dan interaksi antara jenis biochar dengan dosis pupuk fosfor

tidak berbeda nyata terhadap parameter serapan P biji. Hasil analisis serapan P biji akibat faktor jenis biochar dan dosis pupuk fosfor disajikan pada Tabel 20.

Tabel 20. Pengaruh Jenis Biochar dan Dosis Pupuk Fosfor Terhadap Serapan P Biji

Biochar	Pupuk Fosfor (kg SP-36 ha^{-1})				Rata-rata
	0	125	150	175	
	---------- (mg/tanaman) ----------				
Kontrol	70,98	88,58	94,80	84,62	84,74
Biochar Sekam Padi	68,60	88,20	117,29	75,04	87,28
Biochar Batang Singkong	69,71	80,52	101,99	87,03	84,81
Biochar Tongkol Jagung	70,72	92,10	107,53	84,86	88,80
Rata-rata	70,00^{c}	87,35^{b}	105,40^{a}	82,89^{b}	86,41

Superskrip berbeda pada baris rata-rata menunjukkan perbedaan nyata (P<0,05)

Berdasarkan Tabel 20 dapat diketahui bahwa perlakuan jenis biochar menunjukkan tidak berbeda nyata terhadap parameter serapan P biji karena akumulasi P di dalam biji pada fase generatif akhir sangat ditentukan oleh proses remobilisasi hara dari organ vegetatif (daun dan batang) yang telah diserap sejak fase pertumbuhan awal. Menurut Melati *et al*. (2020) biochar segar memiliki stabilitas karbon yang tinggi sehingga pelepasan hara bawaan berjalan sangat lambat. Alokasi unsur P ke dalam biji diatur oleh mekanisme genetik tanaman yang ketat untuk menjaga kualitas benih, sehingga tanaman akan memprioritaskan pemindahan fosfat ke organ reproduksi dalam batas konsentrasi yang stabil agar biji dapat berkembang dengan sempurna. Menurut Sholihah *et al*. (2025) pengaruh biochar terhadap peningkatan ketersediaan fosfor tanah bersifat jangka panjang dan bergantung pada tingkat pelapukan alami serta interaksi biologis di rizosfer, sehingga variasi jenis biochar belum mampu memodifikasi aktivitas mikroba pelarut fosfat atau menekan fiksasi tanah dalam menghasilkan perbedaan yang

nyata pada total serapan P pada bagian biji tanaman saat panen.

Perlakuan dosis pupuk fosfor menunjukkan berbeda nyata terhadap parameter serapan P biji. Serapan P biji tertinggi di antara dosis yang diuji diperoleh pada perlakuan P2 (150 kg SP-36 ha^{-1}), sedangkan P1 (125 kg SP-36 ha^{-1}) dan P3 (175 kg SP-36 ha^{-1}) tidak berbeda nyata. Hal ini diduga disebabkan karena respons serapan P biji terhadap dosis pupuk P bersifat tidak linier, di mana peningkatan serapan terjadi hingga dosis optimum P2, lalu mengalami penurunan pada P3, diduga mampu memacu akumulasi dan pengendapan unsur hara P yang lebih masif ke dalam organ generatif (biji) saat fase pengisian. Menurut Firnia (2018) fosfor memegang peranan dalam transfer energi dan pengisian biji, di mana pada fase pematangan sebagian besar fosfor dari organ vegetatif ditranslokasikan menuju biji. Terpenuhinya pasokan ion fosfat bebas di dalam larutan tanah menyebabkan keberadaan fosfat yang terus-menerus tersedia ini diserap oleh akar. Menurut Kaya (2018) aplikasi pupuk fosfor dengan dosis yang tepat dapat menjaga konsentrasi larutan P tanah pada tingkat optimal untuk menstimulasi perkembangan volume biji, tetapi juga secara nyata meningkatkan konsentrasi dan total serapan hara P pada bagian biji.

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa perlakuan jenis biochar berpengaruh terhadap pH tanah, P-tersedia, bobot segar tanaman, dan bobot kering tanaman. Perlakuan B3 (biochar tongkol jagung) menaikkan nilai pH tanah tertinggi, akan tetapi tidak berbeda nyata dari biochar sekam padi. Ketiga jenis biochar meningkatkan P-tersedia dibandingkan dengan kontrol. Perlakuan dosis pupuk fosfor berpengaruh terhadap parameter pH tanah, P-tersedia, serapan P brangkasan, serapan P biji, tinggi tanaman, jumlah daun, indeks kehijauan daun, bobot segar tanaman, bobot kering tanaman, bobot basah biji, bobot kering biji, dan bobot basah tongkol. Perlakuan P3 (175 kg SP-36 ha^{-1}) menghasilkan nilai tertinggi pada beberapa komponen hasil dan pertumbuhan, sedangkan serapan P brangkasan tertinggi terdapat pada P1 (125 kg SP-36 ha^{-1}) dan serapan P biji pada P2 (150 kg SP-36 ha^{-1}). Interaksi antara jenis biochar dan dosis pupuk fosfor tidak berpengaruh nyata terhadap seluruh parameter yang diamati.

5.2. Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya yaitu penelitian dapat dilakukan dengan periode inkubasi biochar yang lebih lama yaitu 2 MST untuk mengoptimalkan interaksi biochar dengan pupuk fosfor di dalam tanah, serta dilakukan metode pengayaan biochar dengan bahan organik lain.

DAFTAR PUSTAKA

Agviolita, P., Yushardi, dan F. K. A. Anggraeni. 2021. Pengaruh perbedaan biochar terhadap kemampuan menjaga retensi pada tanah. J. Fisika Unand (JFU), 10 (2): 267-273. https://doi.org/10.25077/jfu.10.2.267-273.2021

Alwi, M. K., F. Razie, dan A. Kurnain. 2023. Hubungan ketersediaan fosfor dan kelarutan Fe pada tanah sawah sulfat masam. J. Acta Solum, 1 (2): 61-67. https://doi.org/10.20527/actasolum.v1i2.1839

Arman, M. W., D. A. Harahap, dan R. Hasibuan. 2020. Pengaruh pemberian abu sekam padi dan kompos jerami padi terhadap sifat kimia tanah ultisol pada tanaman jagung manis. J. Tanah dan Sumberdaya Lahan, 7 (2): 315-320. https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2020.007.2.16

Artsam, A. F. A., D. R. Lukiwati, dan S. Budiyanto. 2022. Pengaruh aplikasi biochar dan mikroba penyubur tanah terhadap produksi tanaman kacang tanah pada tanah masam. J. Agroplasma, 9 (2): 137-149. https://doi.org/10.36987/agroplasma.v9i2.2892

Anggraini, R. 2019. Identifikasi gulma pada lahan budidaya jagung (*Zea mays* L.) varietas pertiwi. J. Agrofood, 1 (2): 12-19. https://doi.org/10.63848/agf.v01n2.3

Aswiguna, S., Sarno, N. A. Afrianti, dan Supriatin. 2022. Pengaruh pemberian biochar batang singkong dan pemupukan P terhadap serapan hara N dan K pada tanaman jagung (*Zea mays* L.). J. Agrotek Tropika, 10 (3): 455-459. https://doi.org/10.23960/jat.v10i3.6109

Balai Pengujian Standar Instrumen Tanah dan Pupuk. 2023. Analisis kimia tanah, tanaman, air dan pupuk. Kementerian Pertanian Republik Indonesia. Bogor. Cetakan ketiga: Desember 2023, ISBN 978-602-8039-49-9.

Bustaman., Tony, Mualif, Salawati, dan S. Ende. 2026. Pengaruh pemberian pupuk kalium terhadap kadar gula tanaman jagung manis (*Zea mays saccharata* L.). JAGO TOLIS : J. Agrokompleks Tolis, 6 (2): 248-258. https://doi.org/10.56630/jago.v6i2.1543

Caroline, A. C., R. Hayati, dan L. Agustine. 2024. Pengaruh kombinasi penggunaan biochar dan pupuk kotoran terhadap ketersediaan nutrisi N, P, K Serta Pertumbuhan Jagung (*Zea mays* L.) pada tanah aluvial. J. Agriovet, 6 (2): 73-92. https://doi.org/10.51158/agriovet.v6i2.1123

Dewi, P. A., Mulyati, dan Suwardji. 2024. Management strategies for maize cultivation in drylands through soil tillage techniques and fertilizer efficiency. J. Biologi Tropis, 24 (2b): 134-144. https://doi.org/10.29303/jbt.v24i2b.8117

Dolsenyawi, F., F. Polnaya, dan I. J. Lawalata. 2026. Respon pemberian pupuk phonska terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman jagung manis (*Zea mays saccharata* Sturt.). MARSEGU: J. Sains dan Teknologi, 2 (10): 707-722. https://doi.org/10.69840/marsegu/2.10.2026.707-722

Firnia, D. 2018. Dinamika Unsur Fosfor pada Tiap Horison Profil Tanah Masam. J. Agroekoteknologi. 10 (1): 45-52. https://dx.doi.org/10.33512/j.agrtek.v10i1.5464

Hawayanti, E., A. Palmasari, dan F. Ardiansyah. 2020. Respon pertumbuhan dan produksi tanaman jagung manis (*Zea mays saccharata* Sturt.) pada pemberian pupuk kandang kotoran sapi dan pupuk fosfat. Klorofil: J. Ilmu-Ilmu Agroteknologi, 15 (2): 69-73. https://doi.org/10.32502/jk.v15i2.3860

Iskandar, T., dan U. Rofiatin. 2017. Karakteristik biochar berdasarkan jenis biomassa dan parameter proses pirolisis. J. Teknik Kimia, 12 (1): 28-35. https://doi.org/10.33005/tekkim.v12i1.843

Iswantoro, D., dan D. Handayani. 2022. Klasifikasi penyakit tanaman jagung menggunakan metode *Convolutional Neural Network* (CNN). J. Ilmiah Universitas Batanghari Jambi, 22 (2): 900-905. https://doi.org/10.33087/jiubj.v22i2.2065

Janu, Y. F., dan C. Mutiara. 2021. Pengaruh biochar sekam padi terhadap sifat fisik tanah dan hasil tanaman jagung (*Zea mays*) di Kelurahan Lape Kecamatan Aesesa. J. Agrica, 14 (1): 67-82. https://doi.org/10.37478/agr.v14i1.1042

Kementerian Pertanian Republik Indonesia. 2023. Keputusan Menteri Pertanian Republik Indonesia Nomor 411/Kpts/PV.240/D/X/2023 tentang Pemberian Tanda Daftar Varietas Tanaman Hortikultura Jagung Manis SC SH722.

Kasno, A. 2019. Perbaikan tanah untuk meningkatkan efektivitas dan efisiensi pemupukan berimbang dan produktivitas lahan kering masam. J. Sumberdaya Lahan, 13 (1): 27-40. https://epublikasi.pertanian.go.id/berkala/jsl/article/view/3346/3380

Kaya, E. 2018. Pengaruh pupuk kalium dan fosfat terhadap ketersediaan dan serapan fosfat tanaman kacang tanah (*Arachis Hypogaea* L.) pada tanah brunizem. J. Agrologia, 1 (2): 113-118. https://doi.org/10.30598/a.v1i2.286

Kurniawan, A., B. Haryono, M. Baskara, dan S. Y. Tyasmoro. 2016. Pengaruh penggunaan biochar pada media tanam terhadap pertumbuhan bibit tanaman tebu (*Saccharum officinarum* L.). J. Produksi Tanaman, 4 (2): 153-160. https://doi.org/10.21176/protan.v4i2.273

Lisdiyanti, M., dan H. Guchi. 2018. Pengaruh pemberian bahan humat dan pupuk SP-36 untuk meningkatkan ketersediaan fosfor pada tanah ultisol. J. Pertanian Tropik, 5 (2): 192-198. https://doi.org/10.32734/jopt.v5i2.2991

Mardiyan, K., B. Nasrul, dan N. Nelvia. 2024. Pengaruh biochar cangkang kelapa sawit dan pupuk NPK terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman jagung manis (*Zea mays saccharata* Sturt.). J. of Social Science Research, 4 (3): 16840-16854. https://doi.org/10.31004/innovative.v4i3.10616

Melati, C., B. M. P. Prawiranegara, A. N. Flatian, dan E. Suryadi. 2020. Pertumbuhan hasil dan serapan fosfor (32p) tanaman jagung manis (*Zea mays* L. *saccharata* Sturt) akibat pemberian biochar dan SP-36. J. Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi, 16 (2): 67-76. https://doi.org/10.17146/jair.2020.16.2.5804

Nisfuriah, L., R. I. S. Aminah, Rosmiah, dan D. Satria. 2020. Pemanfaatan pupuk fosfat dan pupuk hayati pada jagung manis (*Zea mays saccharata* Sturt.) di lahan kering. J. Klorofil, 15 (1): 17-22. https://doi.org/10.32502/jk.v15i1.3721

Nurida, N. L., Sutono, dan Muchtar. 2017. Pemanfaatan biochar kulit buah kakao dan sekam padi untuk meningkatkan produktivitas padi sawah di ultisol Lampung. J. Pengkajian dan Pengembangan Teknologi Pertanian, 20 (1): 69-80. https://doi.org/10.21082/jpptp.v20n1.2017.p69-80

Nuryani, E., G. Haryono, dan Historiawati. 2019. Pengaruh dosis dan saat pemberian pupuk p terhadap hasil tanaman buncis (*Phaseolus vulgaris* L.) tipe tegak. VIGOR: J. Ilmu Pertanian Tropika dan Subtropika, 4 (1): 14-17. https://doi.org/10.31002/vigor.v4i1.1307

Prasetyo, D., F. Fajarindo, S. Supriatin, dan T. Syam. 2022. Aplikasi biochar batang singkong dan pemupukan fosfat pada tanah ultisol terhadap P-tersedia, pertumbuhan, dan produksi jagung (*Zea mays* L.). J. Agrotek Tropika, 10 (2): 329-337. https://doi.org/10.23960/jat.v10i2.5949

Pratama, B.W., R. Hayati, dan L. Agustine. 2024. Pengaruh pemberian biochar terhadap ketersediaan hara N, P, K dan pertumbuhan tanaman jagung di tanah gambut. J. Pertanian Agros, 26 (1): 442-451. http://dx.doi.org/10.37159/jpa.v26i1.4147

Putri, V. I., Mukhlis, dan B. Hidayat. 2017. Pemberian beberapa jenis biochar untuk memperbaiki sifat kimia tanah ultisol dan pertumbuhan tanaman jagung. J. Agroekoteknologi, 5 (4): 824-828. https://doi.org/10.32734/ja.v5i4.2496

Putriani, S.S., S. Yusnaini, L. M. Septiana, dan D. Dermiyati. 2022. Aplikasi biochar dan pupuk P terhadap ketersediaan dan serapan P pada tanaman jagung manis (*Zea mays saccharata* Sturt.) di tanah ultisol. J. Agrotek Tropika, 10 (4): 615-626. https://doi.org/10.23960/jat.v10i4.6447

Rohmaniya, F., R. Jumadi, dan E. S. Redjeki. 2023. Respon pertumbuhan dan hasil tanaman jagung manis (*Zea mays saccharata* Sturt) pada pemberian pupuk kandang kambing dan pupuk NPK. TROPICROPS: J. of Tropical Crops, 6 (1): 37-51. https://doi.org/10.30587/tropicrops.v6i1.5376

Rosalina, E., dan Y. Nirwanto. 2021. Pengaruh takaran pupuk fosfor (P) terhadap pertumbuhan dan hasil beberapa varietas tanaman padi (*Oryza sativa* L.). J. Media Pertanian, 6 (1): 21-32. https://doi.org/10.37058/mp.v6i1.3015

Rosnina, A. G., A. Syafani, A. Supraja, dan B. Ardiyanti. 2021. Efek kombinasi *biochar* dan mikoriza pada pertumbuhan tanaman jagung pulut ungu (*Zea mays* L. var *ceratina kulesh*) tanah inseptisol reuleut. J. of Applied Agricultural Sciences, 5 (1): 34-40. https://doi.org/10.25047/agriprima.v5i1.400

Salawati, S., dan S. Ende. 2026. Pertumbuhan dan hasil jagung manis pada berbagai takaran biochar yang dibudidayakan di musim kemarau. J. Vegetalika, 15 (1): 33-42. https://doi.org/10.22146/veg.109192

Saragih, M. K., E. M. Sianipar, P. L. Sianturi, P. Sihombing, dan B. R. Sihite. 2022. Pengaruh bebagai jenis biochar dan pupuk NPK terhadap kapasitas tukar kation (KTK) tanah ultisol pada budidaya jagung manis (*Zea mays saccharata* L.). J. Majalah Ilmiah METHODA, 12 (3): 252-257. https://doi.org/10.46880/methoda.Vol12No3.pp252-257

Shalsabila, F., S. Prijono, dan Z. Kusuma, Z. 2017. Pengaruh aplikasi biochar kulit kakao terhadap kemantapan agregat dan produksi tanaman jagung pada Ultisol Lampung Timur. JTSL: J. Tanah dan Sumberdaya Lahan, 4 (1): 473-480. https://jtsl.ub.ac.id/index.php/jtsl/article/view/161

Sholihah, F. N., S. Yusnaini, M. V. Rini, M. S. Arif. 2025. Pengaruh aplikasi tiga jenis biochar dan pupuk fosfor terhadap keberadaan fungi mikoriza arbuskular serta pertumbuhan tanaman jagung (*Zea mays*) di LTPD Unila. J. Agrotek Tropika, 13 (1): 92-105. https://doi.org/10.23960/jat.v13i1.10644

Sinaga, A.H. 2018. Analisis komoditi jagung (*Zea mays* L.). J. Darma Agung, 26 (3): 319-325. http://dx.doi.org/10.46930/ojsuda.v26i3.2718

Sirait, R. F., Sarno, N. A. Afrianti, dan A. Niswati. 2020. Pengaruh aplikasi biochar dan pemupukan nitrogen terhadap ketersediaan NPK tanah pada pertanaman jagung manis (*Zea mays* L.). J. Agrotek Tropika, 8 (1): 37-46. https://doi.org/10.23960/jat.v8i1.3680

Situmeang, Y. P. 2020. Biochar bambu perbaiki kualitas tanah dan hasil jagung. Scopindo Media Pustaka. Surabaya.

Solfianti, M., T. B. Herviyanti, Prasetyo, dan A. Maulana. 2021. Pengaruh aplikasi biochar limbah kulit pinang dosis rendah terhadap sifat kimia inceptisol. J. Agrikultura, 32 (1): 77-84. https://doi.org/10.24198/agrikultura.v32i1.32602

Solihin, E., R. Sudirja, A. Sandrawati, M. Damayani, dan N. N. Kamaluddin. 2019a. Pengaruh penambahan dosis pupuk fosfat terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman jagung (*Zea mays* L.) pada inceptisol asal Jatinangor. J. Soilrens, 17 (1): 31-37. https://doi.org/10.24198/soilrens.v17i1.23217

Solihin, E., R. Sudirja, dan N. N. Kamaluddin. 2019b. Aplikasi pupuk kalium dalam meningkatkan pertumbuhan dan hasil tanaman jagung manis (*Zea mays* L.). J. Agrikultura, 30 (2): 40-45. https://doi.org/10.24198/agrikultura.v30i2.22791

Tarigan, A. D., dan N. Nelvia. 2020. Pengaruh pemberian biochar tandan kosong kelapa sawit dan mikoriza terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman jagung manis (*Zea mays* sacharrata L.) di tanah ultisol. J. Agroekoteknologi, 12 (1), 23-37. https://dx.doi.org/10.33512/jur.agroekotetek.v12i1.8769

Verdiana, M. A., H. T. Sebayang, dan T. Sumarni. 2016. Pengaruh berbagai dosis biochar sekam padi dan pupuk NPK terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman jagung (*Zea mays* L .). J. Produksi Tanaman, 4 (8): 611-616. https://doi.org/10.21176/protan.v4i8.335

Wahyudin, A., B. N. Fitriatin, F. Y. Wicaksono, dan R. Ruminta. 2017. Respons tanaman jagung (*Zea mays* L.) akibat pemberian pupuk fosfat dan waktu aplikasi pupuk hayati mikroba pelarut fosfat pada ultisols Jatinangor. J. Kultivasi, 16 (1), 2-13. https://doi.org/10.24198/kultivasi.v16i1.11559

Wati, C., D. Sulistyowati, E. Krisnawati, N. Musyarofah, dan B. Adirianto. 2024. Pengaruh naungan terhadap karakter morfofisiologi jagung manis. J. Agrica Ekstensia, 18 (2): 120-128. https://doi.org/10.55127/ae.v18i2.230

Widyantika, S. D., dan S. Prijono. 2019. Pengaruh biochar sekam padi dosis tinggi terhadap sifat fisik tanah dan pertumbuhan tanaman jagung pada *typic kanhapludult*. J. Tanah dan Sumberdaya Lahan, 6 (1): 1157-1163. https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2019.006.1.14