

PENGARUH APLIKASI BIOCHAR DAN PUPUK FOSFAT TERHADAP PERTUMBUHAN DAN HASIL KEDELAI (*Glycine max* (L.) Merrill) DI TANAH ULTISOL

Adni Mahdhar*, Ermadani, Aryunis

Program Studi Magister Agroekoteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Jambi

Abstract

Rice waste has the potential to be used as a biochar raw material which can be used to overcome constraints on Ultisol soils. This study aims to determine the effect of the application of biochar from rice straw and phosphate fertilizers which give growth and yield of soybeans in Ultisols soil. The experimental design used was a randomized block design with a factorial pattern consisting of 2 factors and 3 replications, the first factor was the input of biochar (B) at a dose of 15 tones ha⁻¹ consisting of: b0 = no biochar, b1 = rice husk biochar 15 ton ha⁻¹, b2 = rice straw biochar 15 ton ha⁻¹, b3 = husk and rice straw biochar 15 ton ha⁻¹. The second factor is the dosage of phosphate fertilizer (P) consisting of: p0 = without phosphate fertilizer, p1 = 60 kg ha⁻¹ TSP (50% of recommendation), p2 = 120 kg ha⁻¹ TSP (100% of recommendation). The results showed that there was no interaction between biochar and phosphate fertilizer applications on plant height, number of flowers per plant, number of productive branches per plant, percentage of fruit set per plant and crop index of soybean. However, the application of phosphate fertilizers significantly increased the number of flowers. There is an interaction between the application of biochar and phosphate fertilizers on leaf area, number of pods per plant, number of pods contained per plant, dry weight of biomass per plant, dry weight of seeds per plant, yield per hectare, net assimilation rate and uptake of plant phosphorus. Application of rice straw biochar with a dose of 15 tones ha⁻¹ and a dose of phosphate fertilizer 60 kg ha⁻¹ increased leaf area 36.74%, number of pods per plant 39.96%, number of filled pods per plant 47.61%, dry weight of biomass per plant 46.82%, seed dry weight per plant 52.65%, yield per hectare 54.68%, net assimilation rate 182.38% and plant phosphorus uptake 72.32%.

Key words : Biochar, P-fertilizer, rice husk, straw, soya, Ultisols

© 2021 Mahdhar, Ermadani, Aryunis

PENDAHULUAN

Konsumsi kedelai diproyeksikan akan terus meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk, perbaikan pendapatan per kapita serta peningkatan kesadaran masyarakat akan kebutuhan gizi. Namun kebutuhan dalam negeri yang tinggi terhadap kedelai masih belum mampu diimbangi dengan produksi kedelai nasional. Terdata produksi kedelai pada tahun 2018 sebesar 982.598 ton (Kementerian Pertanian, 2018). Sementara menurut Balai Penelitian Aneka Kacang dan Umbi (2019),

kebutuhan dalam negeri pada tahun yang sama termasuk kebutuhan industri pangan terhadap kedelai sebesar 2,5 juta ton per tahun. Kondisi defisit inilah yang kemudian menimbulkan kebijakan impor kedelai untuk mencukupi kebutuhan kedelai domestik.

Produksi kedelai Provinsi Jambi pada tahun 2017 mencapai 10.925 ton dari luas panen 7.271 ha dengan produktivitas 1,50 ton ha⁻¹. Produksi kedelai Provinsi Jambi tahun 2018 mencapai 15.400 ton dari luas panen 10.241 ha dengan produktivitas 1,50 ton ha⁻¹

(Kementerian Pertanian, 2018). Terjadi peningkatan produksi kedelai di Provinsi Jambi namun tidak mengalami peningkatan produktivitas yang signifikan dan tergolong rendah jika dibandingkan potensi hasil kedelai yang mencapai 2,03-2,25 ton ha⁻¹.

Stagnasi produktivitas kedelai di Provinsi Jambi tidak terlepas dari masalah produktivitas lahan kering yang didominasi jenis tanah Ultisol. Luas jenis tanah Ultisol di Provinsi Jambi berkisar 2.272.725 ha atau 43,46% dari total luas Wilayah Provinsi Jambi (Esrita *et al.*, 2011). Tanah Ultisol merupakan jenis tanah yang terbentuk melalui proses pelapukan lanjut yang diikuti pencucian intensif terutama pada lapisan tanah atas (*topsoil*) (Ermadani *et al.*, 2011). Jenis tanah Ultisol memiliki tingkat kesuburan tanah yang rendah. Hartatik *et al.* (2015) mengemukakan, karakteristik kimia tanah Ultisol di antaranya pH H₂O 4,36 (rendah), C-organik 1,08% (rendah), N-total 0,11% (rendah), K-dd 0,11 cmol kg⁻¹ (rendah), Na-dd 0,06 cmol kg⁻¹ (sangat rendah), Ca-dd 1,71 cmol kg⁻¹ (sangat rendah), Mg-dd 0,85 cmol kg⁻¹ (rendah), KTK 13 cmol kg⁻¹ (rendah) dan Kejenuhan Basa 19 cmol kg⁻¹ (rendah). Lestari dan Harsono (2017) menambahkan, Al_{dd} 1,31 me 100 g⁻¹, Fe 109 ppm (sangat tinggi) dan kejenuhan Al 31,95% (tinggi) menyebabkan pH berkisar 4,30 (rendah) pada tanah Ultisol. Tingginya kadar Al_{dd} pada tanah Ultisol berkontribusi terhadap peningkatan fiksasi P (Hartatik *et al.*, 2015).

Fosfor (P) merupakan salah satu unsur hara makro yang memiliki peran penting dalam pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Defisiensi fosfor menyebabkan terganggunya proses metabolisme tanaman (Chu *et al.*, 2018). Fosfor dibutuhkan tanaman pada proses fotofosforilasi yang berkontribusi besar menghasilkan molekul berenergi tinggi dalam bentuk adenin trifosfat (ATP) dan nikotinamida adenin dinukleotida fosfat (NADPH) yang sebagian besar disintesis pada proses fotosintesis. Molekul-molekul tersebut kemudian digunakan pada berbagai proses metabolisme dalam tubuh tanaman sebagai senyawa pereduksi. Carstensen *et al.* (2018) melaporkan bahwa terjadi penurunan aliran

elektron pada Fotosistem II (FSII) ke Fotosistem I (FSI) sebesar 34,26 aliran elektron linier atau menurun 43,11% pada saat defisiensi P dibandingkan kontrol.

Salah satu upaya mengatasi kendala ketersediaan fosfor pada tanah Ultisol antara lain penggunaan biochar sebagai amelioran (pembenah tanah). Biochar adalah material organik padat berupa arang dengan kandungan karbon tinggi yang merupakan hasil proses pirolisis pada kondisi oksigen terbatas (Hartatik *et al.*, 2015; Maftu'ah dan Nursyamsi, 2015; Arabi *et al.*, 2018; Li *et al.*, 2018). Dang *et al.* (2015) melaporkan, aplikasi biochar efektif memperbaiki sifat fisiko-kimia tanah melalui kemampuannya menyerap anion dan kation yang bersumber dari senyawa organik maupun anorganik yang menyebabkan pencemaran di dalam tanah.

Biochar dapat menonaktifkan logam berat (Al dan Fe) sehingga fosfat menjadi aktif membentuk orthofosfat yang dapat langsung diserap oleh tanaman. Pengikatan Al dan Fe oleh biochar disebabkan kandungan gugus fungsional oksigen di antaranya fenolik (cincin aromatic yang berikatan dengan gugus OH), karboksilat (R-COOH), karbonil (C=O) dan laktonik (-(C=O)-O-) yang dapat mengkhelat kation terutama Al (Leng *et al.*, 2015). Diperkuat Mosley *et al.* (2015) khelasi logam seperti Al oleh biochar melalui keterlibatan gugus fungsional oksigen (asam karboksilat) dan kompleks silikat (SiO). Disisi lain retensi P terhadap pelindian juga ditingkatkan melalui kandungan Ca dan Mg yang terdapat dalam biochar (Dugdug *et al.*, 2018).

Limbah padi merupakan residu tanaman yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku biochar di Kabupaten Batanghari. Ketersediaan limbah padi sebagai bahan baku biochar cukup melimpah di Kabupaten Batanghari. Hasil observasi dengan salah satu petani di Desa Pasar Terusan bahwa budidaya padi menghasilkan kurang lebih 1,0 ton ha⁻¹ limbah padi yang belum dimanfaatkan. Umumnya limbah padi yang dimanfaatkan berupa sekam dan jerami yang diolah melalui pengomposan, namun untuk berkontribusi terhadap peningkatan produktivitas lahan

mebutuhkan waktu yang cukup lama, karena harus melalui proses mineralisasi terlebih dahulu. Limbah padi memiliki karakteristik yang cukup seimbang sebagai bahan baku biochar. Menurut Maftu'ah dan Nursyamsi (2015), biochar sekam padi mengandung 32,06% C-organik, 0,73% N-total, 43,92% C/N, 44,35% kadar abu, 34,83% SiO₂, dan 5,10% kadar air, sedangkan jerami padi mengandung 36,49% C-organik, 2,09% N-total, 17,46% C/N, 32,43% kadar abu, 27,38% SiO₂, dan 6,88% kadar air.

Hasil penelitian Nurida *et al.* (2019) melaporkan, pemberian biochar sekam padi dengan dosis 15 ton ha⁻¹ meningkatkan bobot gabah kering padi gogo selama 4 musim tanam secara signifikan dibandingkan kontrol. Nurida *et al.* (2019) menyatakan, untuk meningkatkan pH tanah dan menurunkan kadar Al tanah dibutuhkan aplikasi biochar dengan dosis 15 ton ha⁻¹. Lebih jauh Endriani dan Kurniawan (2018) melaporkan, pemberian biochar sekam padi dengan dosis 10 ton ha⁻¹ meningkatkan bobot kering biji dan hasil kedelai secara signifikan dibandingkan tanpa biochar, peningkatan bobot kering biji dari 2,00 ton ha⁻¹ menjadi 2,83 ton ha⁻¹. Hartatik *et al.* (2015) melaporkan aplikasi biochar dosis 2,5 ton ha⁻¹ nyata meningkatkan K potensial, serapan P dan K tanaman kedelai berturut-turut sebesar 0,62 mg 100 g⁻¹ (110,71%), 2,70 kg ha⁻¹ (23,58%), dan 9,87 kg ha⁻¹ (21,60%). Selanjutnya hasil penelitian Sampurno *et al.* (2016) menunjukkan bahwa pemberian biochar limbah padi dengan dosis 12 ton ha⁻¹ meningkatkan total luas daun 3, 4 dan 6 MST dan bobot kering biji per plot tanaman kedelai. Tujuan penelitian ini adalah untuk 1) mengetahui interaksi aplikasi biochar dan pupuk fosfat terhadap pertumbuhan dan hasil kedelai terbaik di tanah Ultisol dan 2) memperoleh jenis biochar dan dosis pupuk fosfat yang memberikan pertumbuhan dan hasil kedelai terbaik di tanah Ultisol.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilaksanakan di Kelurahan Teratai Kecamatan Muara Bulian Kabupaten Batanghari Provinsi Jambi, dilaksanakan pada bulan April 2019 sampai dengan bulan Juni

2019. Jenis tanah pada lokasi penelitian adalah Ultisol. Lokasi percobaan terletak pada ketinggian 15 m dpl. Percobaan ini menggunakan Rancangan Acak Kelompok dengan pola faktorial yang terdiri dari 2 faktor yaitu pemberian jenis biochar (B) dengan dosis 15 ton ha⁻¹ dan dosis pupuk fosfat (P). Pemberian biochar terdiri dari 4 taraf perlakuan yaitu : b0 = tanpa biochar, b1 = biochar sekam padi 15 ton ha⁻¹ , b2 = biochar jerami padi 15 ton ha⁻¹ , b3 = biochar sekam dan jerami padi 15 ton ha⁻¹ . Faktor kedua adalah dosis Pupuk Fosfat terdiri dari 3 taraf yaitu: p0 = tanpa pupuk fosfat, p1 = 60 kg ha⁻¹ TSP (50% dari rekomendasi), p2 = 120 kg ha⁻¹ TSP (100% dari rekomendasi). Desain penelitian disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Desain Penelitian

Biochar (B)	Pupuk Fosfat (P)		
	p0	p1	p2
b0	b0p0	b0p1	b0p2
b1	b1p0	b1p1	b1p2
b2	b2p0	b2p1	b2p2
b3	b3p0	b3p1	b3p2

Variabel yang diamati di antaranya tinggi tanaman, jumlah bunga per tanaman, jumlah cabang produktif per tanaman, persentase *fruit set* per tanaman, indeks panen, jumlah bunga per tanaman, luas daun, jumlah polong per tanaman, jumlah polong berisi per tanaman, berat kering biomassa per tanaman, berat kering biji per tanaman, hasil per hektar, laju asimilasi bersih dan serapan fosfor tanaman. Analisis serapan P tanaman menggunakan metode destruksi kering (*dry ashing; Spectrophotometry*), dilakukan pada umur 35 hari setelah tanam. Selanjutnya memotong dan mengambil semua organ tanaman sampel bagian atas permukaan tanah (tidak termasuk akar). Serapan P tanaman ditentukan dengan rumus: Serapan hara (mg tanaman⁻¹) = konsentrasi hara jaringan (%) x bobot kering tanaman (mg tanaman⁻¹) (Adeli *et al.*, 2005).

Data pendukung berupa analisis pH, P total tanah (metode HCl 25%) dan P-tersedia (metode Bray I) akan dilakukan setelah

pengolahan tanah awal sebelum diberi perlakuan. Analisis pH, P total tanah dan P-tersedia akhir dilakukan setelah diberi perlakuan dan data lainnya yang diperlukan. Sedangkan analisis kandungan hara biochar sekam padi dan jerami padi dilakukan 1 minggu sebelum aplikasi. Adapun parameter yang dianalisis di antaranya pH, N total (metode Kjeldahl), C organik (metode Walkley and Black), P dan K total (metode HCl 25%) dan KTK (metode NH_4OAc 1 M pH 7). Karakteristik tanah lokasi penelitian disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik Tanah

Parameter	Nilai
pH	5,20
Kadar air	1,03
Total P (mg P_2O_5 100 g^{-1})	3,98
P-tersedia (ppm)	9,11
K-tersedia (mg K_2O 100 g^{-1})	0,26

Karakteristik tanah awal penelitian memiliki rata-rata pH rendah dengan rata-rata 5,20 (reaksi masam), kadar P potensial 3,98 mg P_2O_5 100 g^{-1} (sedang), kadar P tersedia 9,11 ppm (rendah) dan kadar K total 0,068 mg K_2O 100 g^{-1} (sangat rendah). Hidrolisis aluminium pada tanah Ultisol berperan dalam penurunan pH (Hartatik *et al.*, 2015). P potensial pada tanah Ultisol termasuk dalam kriteria sedang. Nurida *et al.* (2017) melaporkan, kadar P potensial pada tanah Ultisol 21 mg P_2O_5 100 g^{-1} (sedang). Hartatik *et al.* (2015) juga melaporkan kadar P potensial tanah Ultisol 21 mg P_2O_5 100 g^{-1} termasuk pada kriteria sedang. Tingginya kadar Al tanah meningkatkan fiksasi Al terhadap P sehingga P tersedia pada tanah Ultisol rendah (Hartatik *et al.*, 2015). Ermadani *et al.* (2011) melaporkan kadar P tersedia pada tanah Ultisol sebesar 3,08 ppm (sangat rendah). Hal yang sama dilaporkan Lestari dan Harsono (2017), kadar P tersedia pada tanah Ultisol hanya 8,18 ppm (rendah). Meskipun tanah Ultisol merupakan tanah mineral, Ultisol memiliki kadar K potensial yang rendah, hal ini disebabkan pencucian intensif akibat curah hujan tinggi (Ermadani *et al.*, 2011). Lestari dan Harsono (2017) melaporkan kadar P

potensial tanah Ultisol 0,09 me K_2O 100 g^{-1} (sangat rendah).

Analisis kandungan hara biochar sekam padi dan jerami padi dilakukan 1 minggu sebelum aplikasi. Adapun parameter yang dianalisis diantaranya pH, N total (metode Kjeldahl), C organik (metode Walkley and Black), P dan K total (metode HCl 25%) dan KTK (metode NH_4OAc 1 M pH 7). Karakteristik biochar disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Karakteristik Jenis Biochar

Parameter	Biochar	Biochar
	Sekam Padi	Jerami Padi
pH	7,74	6,97
Kadar air	3,09	7,04
C-Organik	31,18	38,67
Total N (%)	0,77	1,29
C/N	40,52	30,01
P-tersedia (ppm)	0,22	4,48
K-tersedia (cmol kg^{-1})	0,98	0,26
KTK (cmol kg^{-1})	29,14	62,69

Karakteristik jenis biochar sekam padi memiliki keunggulan dibandingkan biochar jerami padi pada parameter pH dan K potensial. Sesuai dengan hasil penelitian Jeong *et al.* (2015) yang melaporkan bahwa karakteristik biochar jerami padi lebih unggul dibandingkan dengan biochar sekam padi pada parameter kapasitas tukar kation, pH biochar jerami padi 9,09 unit dan kapasitas tukar kation 54,8 cmol kg^{-1} , sedangkan biochar sekam padi menunjukkan pH 6,46 dan kapasitas tukar kation 45,6 cmol kg^{-1} . Kadar K potensial yang terkandung dalam biochar ditentukan oleh bahan baku yang digunakan. Yeboah *et al.* (2016) melaporkan, kadar K potensial biochar jerami padi 16,88 cmol kg^{-1} . Disisi lain kadar K potensial dalam biochar sekam padi yang dilaporkan Nurida *et al.* (2019) sebesar 1,58%. Bagaimanapun, dalam penelitian ini menunjukkan kadar K potensial dari biochar sekam padi lebih tinggi dibandingkan biochar jerami padi. Biochar jerami padi memiliki keunggulan dibandingkan biochar sekam padi pada parameter C organik, N total dan C/N.

Maftu'ah dan Nursyamsi (2015) melaporkan kadar C organik biochar ditentukan kadar C/N bahan baku, biochar jerami padi menunjukkan kadar C organik 36,49%, lebih tinggi 4,43% dibandingkan kadar C organik biochar sekam padi. Sejalan dengan hasil penelitian Maftu'ah dan Nursyamsi (2015) yang melaporkan kadar N total biochar jerami 86,30% lebih tinggi dibandingkan biochar sekam padi, sehingga C/N biochar jerami padi lebih rendah 51,54% dibandingkan biochar sekam padi. Selain itu hasil analisis menunjukkan biochar jerami padi juga unggul pada parameter P tersedia dan kapasitas tukar kation. Sesuai dengan Hong dan Lu (2018) yang melaporkan bahwa kadar P tersedia dan kapasitas tukar kation biochar jerami padi berturut-turut sebesar 1448,8 ppm dan 63,69 cmol (+) kg⁻¹, sedangkan biochar sekam padi hanya 211,91 ppm dan 29,13 cmol (+) kg⁻¹.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tinggi Tanaman

Tinggi tanaman kedelai pada fase akhir pertumbuhan tidak dipengaruhi oleh perlakuan biochar (Tabel 5). Nurida *et al.* (2017) melaporkan, bahwa perlakuan jenis biochar kulit kakao dan biochar sekam padi menunjukkan rata-rata tinggi tanaman padi 94,29 dan 90,81 cm berturut-turut. Selanjutnya perlakuan pupuk fosfat juga tidak meningkatkan pertumbuhan tinggi tanaman kedelai tertinggi umur 49 hari setelah tanam. Tinggi tanaman lebih dipengaruhi faktor genetik. Istikhori *et al.* (2016) melaporkan, perlakuan varietas kedelai menunjukkan perbedaan tinggi tanaman yang signifikan, varietas Anjarmoro menunjukkan pertumbuhan tinggi tanaman tertinggi dengan rata-rata 79,26 cm dibandingkan varietas lainnya, sedangkan pemberian berbagai dosis pupuk fosfat tidak meningkatkan tinggi tanaman kedelai. Kuswanto (2017) menambahkan, tanaman kedelai yang dibudidayakan pada jenis tanah asam (*acid soil*) dapat menunjukkan tinggi tanaman yang tidak berbeda dengan tanaman kedelai yang tumbuh di lahan yang optimal disebabkan secara genetik varietas tersebut

lebih toleran pada lahan kering yang asam (*acid dry land*).

Tabel 5. Pengaruh biochar dan pupuk fosfat terhadap tinggi tanaman kedelai umur 49 hari setelah tanam di tanah Ultisol

Perlakuan	Tinggi tanaman
	--- cm ---
Jenis biochar:	
Tanpa biochar	85,78 a
BSP	87,08 a
BJP	91,24 a
BSP + BJP	88,37 a
Dosis pupuk fosfat:	
0 kg ha ⁻¹	85,13 a
60 kg ha ⁻¹	86,87 a
120 kg ha ⁻¹	92,35 a

Keterangan: angka yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji jarak berganda Duncan (UJBD) 5%.

Luas Daun

Luas daun tanaman kedelai menunjukkan adanya interaksi antara biochar dan pupuk fosfat (Tabel 6). Aplikasi biochar jerami padi dan dosis pupuk fosfat 120 kg ha⁻¹ menunjukkan luas daun tanaman kedelai tertinggi umur 49 hari setelah tanam yaitu 77,87 cm² (meningkat 41,43% dibandingkan kontrol), namun tidak berbeda nyata dengan aplikasi biochar jerami padi dan dosis pupuk fosfat 60 kg ha⁻¹ yaitu 75,29 cm² (meningkat 36,74% dibandingkan kontrol). Aplikasi biochar meningkatkan efektivitas dan efisiensi pemupukan sehingga meningkatkan ketersediaan hara yang dibutuhkan tanaman. Verdiana *et al.* (2016) melaporkan, kombinasi perlakuan 4 ton ha⁻¹ biochar dengan pupuk NPK dosis 180 kg ha⁻¹ signifikan meningkatkan 55,04% luas daun tanaman jagung dibandingkan kontrol, dan signifikan meningkatkan 25,30% luas daun dibandingkan perlakuan 300 kg ha⁻¹ pupuk NPK tanpa biochar. Sa'adah dan Islami (2019) juga melaporkan, peningkatan dosis pupuk N anorganik dari 60 menjadi 90 kg ha⁻¹ pada aplikasi biochar jerami padi dosis 5 ton ha⁻¹ tidak meningkatkan luas daun tanaman kedelai.

Tabel 6. Pengaruh interaksi biochar dan pupuk fosfat terhadap luas daun tanaman kedelai umur 49 hari setelah tanam di tanah Ultisol

Jenis Biochar (B)	Dosis Pupuk Fosfat (P) (kg ha ⁻¹)			Rata-rata
	0	60	120	
--- Luas daun (cm ²) ---				
Tanpa biochar	55,06	65,07	72,57	64,23
	A a	A b	A c	A
BSP	56,21	65,91	73,37	65,16
	A a	A b	A c	AB
BJP	57,64	75,29	77,87	70,27
	A a	B b	B b	C
BSP + BJP	56,80	67,73	75,96	66,83
	A a	A b	AB c	B
Rata-rata	56,42	68,50	74,94	
	a	b	c	

Keterangan: angka yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji jarak berganda Duncan (UJBD) 5%. Huruf besar dibaca vertikal dan huruf kecil dibaca horizontal.

Daun merupakan organ penghasil/sumber (*source*) sekaligus pengguna (*sink*) hasil fotosintesis pada masa vegetatif tanaman. Oleh karena itu, daun merupakan salah satu organ tanaman yang paling sensitif terhadap ketersediaan air dan hara. Semakin optimal luas daun maka semakin meningkat laju transpirasi, fotosintesis, pembukaan stomata, pengikatan CO₂ pada siklus calvin dan sintesis karbohidrat. Pertumbuhan luas daun optimal mengindikasikan ketersediaan air dan hara yang optimal bagi tanaman. Wu *et al.* (2018) mengemukakan, pertumbuhan luas daun dipengaruhi karbohidrat yang diproduksi dari proses fotosintesis, perubahan tingkat dan kapasitas fotosintesis menyebabkan perubahan struktur dan luas daun.

Jumlah Bunga

Aplikasi biochar tidak berpengaruh nyata terhadap jumlah bunga per tanaman kedelai. Selanjutnya perlakuan pupuk fosfat

berpengaruh nyata terhadap jumlah bunga per tanaman kedelai (Tabel 7). Rata-rata jumlah bunga per tanaman kedelai tertinggi diperoleh pada perlakuan dosis pupuk fosfat 120 kg ha⁻¹ yaitu 126,65 kuntum (meningkat 14,25% dibandingkan kontrol). Hal ini diduga terkait dengan ketersediaan hara terutama fosfor akibat pemberian pupuk fosfat. Khaerunnisa *et al.* (2015) melaporkan, terjadi peningkatan jumlah bunga tanaman kedelai 85,14% pada perlakuan 1,5 R pupuk sintetik dibandingkan kontrol. Ketersediaan fosfor bagi tanaman dapat menstimulasi pembentukan bunga dan meningkatkan suplai fotoasimilat selama perkembangan organ bunga. Sejalan dengan pernyataan He *et al.* (2019), aplikasi fosfor meningkatkan jumlah bunga tanaman kedelai, kondisi defisit fosfor mengurangi jumlah bunga secara signifikan.

Tabel 7. Pengaruh biochar dan pupuk fosfat terhadap jumlah bunga per tanaman kedelai di tanah Ultisol

Perlakuan	Jumlah bunga
	--- kuntum ---
Jenis biochar:	
Tanpa biochar	118,42 a
BSP	119,83 a
BJP	122,36 a
BSP + BJP	121,18 a
Dosis pupuk fosfat:	
0 kg ha ⁻¹	110,85 a
60 kg ha ⁻¹	123,84 b
120 kg ha ⁻¹	126,65 c

Keterangan: angka yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji jarak berganda Duncan (UJBD) 5%.

Fosfor berperan memicu ekspresi gen yang menginisiasi pembentukan bunga dan meningkatkan suplai fotoasimilat untuk pertumbuhan dan perkembangan organ bunga pada fase transisi. Mao *et al.* (2017) mengemukakan, pada fase transisi dari fase vegetatif ke fase generatif terdapat 3 gen utama yang terekspresi berturut-turut dalam kurun waktu primordial bunga tanaman yaitu gen waktu berbunga, gen identitas bunga, dan gen identitas organ bunga. Proses ekspresi gen secara berturut-turut dimulai dari tersedianya gen (DNA) untuk diekspresikan, selanjutnya

gen ditranskripsi oleh RNA *polymerase* II, kemudian mRNA membawa transkripsi keluar dari inti sel melewati kulit inti ke sitosol, mRNA ditranslasi di sitosol dan retikulum endoplasma menjadi *polypeptide*, selanjutnya *polypeptide* yang diproduksi sitosol dan retikulum endoplasma menjadi protein fungsional. Peran fosfor dalam fase transisi adalah sebagai unsur penyusun molekul-molekul pembawa sinyal kedua (*second messengers*) yang diproduksi oleh enzim yang diaktivasi oleh hormon. Hormon sebagai pembawa sinyal utama bersama molekul-molekul seperti *3',5'-cyclic AMP*, *3',5'-cyclic GMP*, *Cyclic ADP-Ribose* dan *Inositol 1,4,5-triphosphate* sebagai pembawa sinyal kedua (*second messengers*) akan menstimulasi terekspresinya gen-gen primordial bunga (Mao *et al.*, 2017).

Jumlah Polong

Jumlah polong per tanaman kedelai menunjukkan terdapat interaksi antara biochar dan pupuk fosfat (Tabel 8). Aplikasi biochar jerami padi dan dosis pupuk fosfat 120 kg ha⁻¹ menunjukkan rata-rata jumlah polong per tanaman kedelai tertinggi yaitu 107,45 polong (meningkat 41,51% dibandingkan kontrol), namun tidak berbeda nyata dengan aplikasi biochar jerami padi dan dosis pupuk fosfat 60 kg ha⁻¹ yaitu 106,27 polong (meningkat 39,96% dibandingkan kontrol). Aplikasi biochar yang ditambahkan pupuk sebagai sumber hara dapat meningkatkan ketersediaan hara bagi tanaman. Lusiba *et al.* (2017) melaporkan, aplikasi pupuk fosfat meningkatkan jumlah polong kacang buncis hanya pada perlakuan tanpa biochar. Bagaimanapun, hasil penelitian ini menunjukkan adanya interaksi perlakuan biochar dan pupuk fosfat terhadap jumlah polong tanaman kedelai. Aplikasi biochar yang ditambahkan pupuk sebagai sumber hara dapat meningkatkan ketersediaan hara bagi tanaman. Barus (2016) melaporkan, perlakuan biochar sekam padi dosis 10 ton ha⁻¹ tidak meningkatkan jumlah polong kedelai secara signifikan dibandingkan kontrol, sedangkan

kombinasi biochar sekam padi dosis 10 ton ha⁻¹ dengan pupuk kompos dosis 10 ton ha⁻¹ meningkatkan jumlah polong tanaman kedelai 55,59%, signifikan dibandingkan kontrol.

Tabel 8. Pengaruh interaksi biochar dan pupuk fosfat terhadap jumlah polong per tanaman kedelai di tanah Ultisol

Jenis Biochar (B)	Dosis Pupuk Fosfat (P) (kg ha ⁻¹)			Rata-rata
	0	60	120	
--- Jumlah polong (polong) ---				
Tanpa biochar	75,93	91,92	99,32	89,06
	A	A	A	A
BSP	a	b	c	
	76,69	93,55	103,15	91,13
BJP	A	A	AB	AB
	a	b	c	
BSP + BJP	79,19	106,27	107,45	97,64
	A	B	B	C
Rata-rata	a	b	b	
	77,47	94,93	105,87	92,76
Rata-rata	A	A	B	B
	a	b	c	
Rata-rata	77,32	96,67	103,95	
	a	b	c	

Keterangan: angka yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji jarak berganda Duncan (UJBD) 5%. Huruf besar dibaca vertikal dan huruf kecil dibaca horizontal.

Fase pembentukan polong sangat dipengaruhi ketersediaan fotoasimilat dan translokasi fotoasimilat ke organ generatif. Ketersediaan fotoasimilat dipengaruhi ketersediaan ATP dan NADPH sebagai molekul pereduksi diberbagai tahap sintesis asimilat seperti reaksi 3-fosfoglisarat menjadi 1,3-bifosfoglisarat yang membutuhkan 6 molekul ATP dan 1,3-bifosfoglisarat menjadi 3-fosfoglisaraldehida yang membutuhkan 6 molekul NADPH (Soverda, 2011). Tidak jauh berbeda dengan proses sintesis asimilat, proses translokasi fotoasimilat juga membutuhkan molekul ATP dan melibatkan banyak sel, organ utama yang terlibat adalah organ penghasil (*source*) dan pengguna (*sink*).

Terdapat dua mekanisme masuknya fotoasimilat dari *source* ke *sink* yaitu mekanisme aktif dan pasif. Translokasi fotoasimilat melalui mekanisme aktif

dipostulatkan menggunakan energi metabolisme (molekul ATP) dan H^+ sebagai *symporter* sukrosa melalui plasmodesmata (Basuchaudhuri, 2016). Sedangkan translokasi fotoasimilat melalui mekanisme pasif (ditemukan pada jenis tanaman sereal, bit dan kentang) merupakan teori yang dikemukakan Munch (1930) yaitu teori aliran tekanan dari *source* ke *sink* yang meliputi *phloem loading* ke *sieve elements* dilanjutkan *phloem unloading* ke *sink*. Fase pembentukan polong menyebabkan perubahan pola translokasi fotoasimilat pada tanaman kedelai. Sejalan dengan Silva *et al.* (2018), terjadi penurunan konten karbohidrat pada daun, batang dan akar adalah awal dari pembentukan polong, hal ini disebabkan kadar karbohidrat yang tinggi ditranslokasikan untuk pertumbuhan buah (polong).

Jumlah Cabang Produktif

Jumlah cabang produktif per tanaman kedelai menunjukkan bahwa perlakuan biochar secara tunggal maupun pupuk fosfat secara tunggal tidak berpengaruh nyata terhadap jumlah cabang produktif per tanaman kedelai (Tabel 9). Siregar *et al.* (2017) melaporkan, aplikasi biochar sekam padi meningkatkan jumlah cabang produktif tanaman kedelai 25-44,5% secara signifikan, sedangkan aplikasi pupuk fosfat tidak meningkatkan jumlah cabang produktif tanaman kedelai yang hanya berkisar dirata-rata 2,36-2,63 cabang. Bagaimanapun, hasil analisis (Tabel 2) menunjukkan bahwa unsur hara yang terkandung dalam biochar sangat sedikit, bahkan tidak lebih baik dibandingkan pupuk organik seperti kompos dan pupuk kandang. Jumlah cabang produktif merupakan representasi keseimbangan interaksi antara unsur hara nitrogen sebagai penyusun molekul protein, fosfor sebagai penyusun sumber energi metabolisme dan kalium sebagai kation penyeimbang osmotik sel. Peningkatan dosis pupuk P tanpa disertai peningkatan unsur N tidak meningkatkan jumlah cabang produktif tanaman (Firmansyah *et al.*, 2017). Nasution (2017) melaporkan, perlakuan pupuk fosfat

menunjukkan rata-rata jumlah cabang produktif 6,29 cabang, tidak signifikan dibandingkan perlakuan tanpa pupuk fosfat yang menunjukkan rata-rata 6,61 cabang.

Tabel 9. Pengaruh biochar dan pupuk fosfat terhadap jumlah cabang produktif per tanaman kedelai di tanah Ultisol

Perlakuan	Jumlah cabang produktif
	--- cabang ---
Jenis biochar:	
Tanpa biochar	3,76 a
BSP	3,79 a
BJP	4,00 a
BSP + BJP	3,92 a
Dosis pupuk fosfat:	
0 kg ha ⁻¹	3,83 a
60 kg ha ⁻¹	3,77 a
120 kg ha ⁻¹	4,01 a

Keterangan: angka yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji jarak berganda Duncan (UJBD) 5%.

Jumlah Polong Berisi

Jumlah polong berisi per tanaman kedelai menunjukkan adanya interaksi antara biochar dan pupuk fosfat (Tabel 10). Aplikasi biochar jerami padi dan dosis pupuk fosfat 120 kg ha⁻¹ menunjukkan jumlah polong berisi per tanaman kedelai tertinggi yaitu 104,45 polong (meningkat 53,76% dibandingkan kontrol), namun tidak berbeda nyata dengan aplikasi biochar jerami padi dan dosis pupuk fosfat 60 kg ha⁻¹ yaitu 100,27 polong (meningkat 47,61% dibandingkan kontrol). Siregar *et al.* (2017) melaporkan, perlakuan biochar sekam padi dan pupuk fosfat tidak meningkatkan jumlah polong berisi secara signifikan, akan tetapi perlakuan pupuk fosfat 75 dan 150 kg ha⁻¹ meningkatkan jumlah polong berisi 7,37% dan 15,92% berturut-turut. Bagaimanapun, dalam penelitian ini biochar jerami padi memiliki keunggulan dibandingkan jenis biochar sekam padi (Tabel 2). Kualitas bahan organik yang digunakan sebagai bahan baku akan menentukan kualitas biochar yang dihasilkan (Maftu'ah dan Nursyamsi, 2015).

Tabel 10. Pengaruh interaksi biochar dan pupuk fosfat terhadap jumlah polong berisi per tanaman kedelai di tanah Ultisol

Jenis Biochar (B)	Dosis Pupuk Fosfat (P) (kg ha ⁻¹)			Rata-rata
	0	60	120	
--- Jumlah polong berisi (polong) ---				
Tanpa biochar	67,93	84,92	96,32	83,06
	A a	A b	A c	A
BSP	68,69	87,55	99,15	85,13
	A a	A b	AB c	AB
BJP	72,19	100,27	104,45	92,31
	A a	B b	B b	C
BSP + BJP	70,47	88,93	102,87	87,42
	A a	A b	B c	B
Rata-rata	69,82	90,42	100,70	
	a	b	c	

Keterangan: angka yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji jarak berganda Duncan (UJBD) 5%. Huruf besar dibaca vertikal dan huruf kecil dibaca horizontal.

Ketersediaan fosfor meningkatkan serapan fosfor tanaman yang berbanding lurus dengan aktivitas fotosintesis, asimilat yang dihasilkan pada proses fotosintesis menentukan pertumbuhan dan perkembangan biji (embrio). Faktor utama yang mempengaruhi pembentukan biji menurut Monpara *et al.* (2019) di antaranya fertilisasi (proses pembuahan) dan perkembangan embrio (biji). Selama masa perkembangannya embrio mengalami pertambahan kuantitatif. Pertambahan ini diinisiasi translokasi fotoasimilat dan hormon yang memicu peningkatan aktivitas sel embrio. Perkembangan embrio sangat dipengaruhi translokasi fotoasimilat ke organ biji. Menurut He *et al.* (2019), defisiensi fosfor mengurangi jumlah polong berisi dan ukuran biji tanaman kedelai secara signifikan. Khanam *et al.* (2016) mengemukakan, aplikasi pupuk fosfor yang optimal signifikan meningkatkan jumlah polong berisi per tanaman kedelai.

Persentase Fruit Set

Persentase *fruit set* per tanaman kedelai menunjukkan bahwa perlakuan biochar tidak berpengaruh nyata, sedangkan faktor pupuk fosfat berpengaruh nyata terhadap persentase *fruit set* tanaman kedelai (Tabel 11). Rata-rata persentase *fruit set* tanaman kedelai tertinggi diperoleh pada perlakuan dosis pupuk fosfat 120 kg ha⁻¹ yaitu 82,25% (meningkat 12,35% dibandingkan kontrol). Hamidah (2013) melaporkan bahwa pemberian pupuk fosfat tidak meningkatkan *fruit set* per hektar tanaman melon. Persentase *fruit set* merepresentasikan keseimbangan nutrisi yang dibutuhkan tanaman pada fase pembentukan polong. Defisiensi salah satu unsur hara makro berpengaruh terhadap pembentukan buah (Firmansyah *et al.*, 2017). Ramadhan *et al.* (2014) melaporkan bahwa perlakuan NPK meningkatkan *fruit set* tanaman jeruk manis 21,33% secara signifikan.

Tabel 11. Pengaruh biochar dan pupuk fosfat terhadap persentase *fruit set* per tanaman kedelai di tanah Ultisol

Perlakuan	Persentase <i>fruit set</i>
	--- % ---
Jenis biochar:	
Tanpa biochar	75,03 a
BSP	75,96 a
BJP	79,51 a
BSP + BJP	76,44 a
Dosis pupuk fosfat:	
0 kg ha-1	69,90 a
60 kg ha-1	78,05 b
120 kg ha-1	82,25 c

Keterangan: angka yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji jarak berganda Duncan (UJBD) 5%.

Persentase *fruit set* merupakan perbandingan polong terbentuk dengan jumlah bunga yang dihasilkan oleh tanaman kedelai. Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi persentase *fruit set* tanaman kedelai menurut Egli (2010) di antaranya kerontokan bunga (*flower abortion*) dan kerontokan buah (*fruit abortion*). Kerontokan bunga cenderung dipengaruhi konsentrasi fitohormon sebagai interaksi tanaman terhadap lingkungan, sedangkan kerontokan buah memiliki korelasi

erat terhadap suplai fotoasimilat. Menurut Ali *et al.* (2019), 75 persen dari 20 varietas kedelai di Indonesia memiliki tingkat kerontokan bunga yang tinggi, hal ini dapat disebabkan oleh kandungan hormon etilen yang tinggi dan rendahnya kandungan hormon auksin dan giberelin. Selanjutnya setelah bunga mencapai masa antesis rentan terjadi kerontokan buah. Buah yang berpotensi mengalami kerontokan sebagian besar adalah buah yang memiliki pertumbuhan yang lebih lambat sehingga memiliki ukuran lebih kecil dibandingkan buah yang tumbuh normal. Selama fase pembentukan buah, fotoasimilat yang dihasilkan dari siklus calvin di stroma secara aktif maupun pasif ditranslokasikan ke buah sebagai *sink* melalui jalur transport fotoasimilat. Ukuran bunga dan buah yang kecil mengindikasikan akumulasi bahan kering yang rendah. Egli (2010) mengembangkan sebuah model komponen produksi tanaman kedelai dan menemukan bahwa perkembangan buah sangat sensitif terhadap suplai asimilat terutama menjelang polong mencapai panjang dan berat maksimum.

Berat Kering Biomassa

Berat kering biomassa per tanaman kedelai menunjukkan adanya interaksi antara biochar dan pupuk fosfat (Tabel 12). Aplikasi biochar jerami padi dan dosis pupuk fosfat 120 kg ha⁻¹ menunjukkan berat kering biomassa per tanaman kedelai tertinggi yaitu 45,26 g (meningkat 53,79% dibandingkan kontrol), namun tidak berbeda nyata dengan aplikasi biochar jerami padi dan dosis pupuk fosfat 60 kg ha⁻¹ yaitu 43,21 g (meningkat 46,82% dibandingkan kontrol). Lusiba *et al.* (2017) melaporkan bahwa aplikasi pupuk P meningkatkan biomassa tanaman buncis pada perlakuan 5 ton ha⁻¹ biochar dan menurunkan biomassa tanaman buncis pada perlakuan 20 ton ha⁻¹ biochar. Selanjutnya Nurida *et al.* (2019) perlakuan jenis biochar kulit kakao signifikan meningkatkan bobot jerami kering padi gogo dibandingkan biochar sekam padi selama 4 musim tanam sebesar 71,69%, 15,28%, 31,02% dan 49,37% berturut-turut.

Baik dosis maupun jenis biochar menunjukkan pengaruh berbeda terhadap biomassa tanaman, pada penggunaan dosis yang sama, jenis biochar berpotensi menunjukkan pengaruh yang berbeda terhadap berat kering biomassa tanaman.

Tabel 12. Pengaruh interaksi biochar dan pupuk fosfat terhadap berat kering biomassa per tanaman kedelai di tanah Ultisol

Jenis Biochar (B)	Dosis Pupuk Fosfat (P) (kg ha ⁻¹)			Rata-rata
	0	60	120	
--- Berat kering biomassa (g) ---				
Tanpa biochar	29,43	35,27	42,35	35,68
	A a	A b	A c	A
BSP	30,17	36,86	42,74	36,59
	A a	AB b	AB c	A
BJP	30,54	43,21	45,26	39,67
	A a	C b	C c	C
BSP + BJP	30,42	38,59	44,50	37,84
	A a	B b	BC c	B
Rata-rata	30,14	38,48	43,71	c
	a	b	c	

Keterangan: angka yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji jarak berganda Duncan (UJBD) 5%. Huruf besar dibaca vertikal dan huruf kecil dibaca horizontal.

Biomassa merupakan keseluruhan akumulasi karbon (¹⁴C₂) total yang dihasilkan sepanjang siklus hidup tanaman. Tanaman kedelai memfiksasi karbon dari udara yang dalam bentuk CO₂ melalui stomata, kemudian dikonversi menjadi gliseraldehida-3-fosfat menggunakan energi yang dihasilkan dari fotosistem II (FSII) dan fotosistem I (FSI) berupa ATP. Senyawa karbon gliseraldehida-3-fosfat kemudian dikonversi menjadi triosa fosfat untuk membentuk sukrosa disebut alokasi karbon (*carbon allocation*). Pada tanaman C₃, karbon yang disintesis dari siklus calvin menurut Soverda (2011) dalam bentuk gliseraldehida-3-fosfat yang sebagian dialokasikan untuk pembentukan ribulosa bisfosfat (RuBisCo) pada siklus calvin,

sebagian lagi untuk membentuk sukrosa, dan sebagian lainnya untuk pembentukan pati (pada tanaman C3). Selanjutnya distribusi sukrosa ke seluruh bagian tanaman di antaranya daun, batang, akar dan buah disebut pembagian karbon (*carbon partitioning*). Biomassa menjelaskan kemampuan tanaman menghasilkan bahan kering, semakin tinggi berat biomassa maka merepresentasikan tingginya aktivitas pengikatan CO₂ oleh stomata (Abideen *et al.*, 2020). Menurut Tamagno *et al.* (2020), bobot kering biomassa memiliki korelasi positif dengan beberapa proses fisiologi di antaranya tingkat fotosintesis dan konduktansi stomata.

Berat Kering Biji

Tabel 13. Pengaruh interaksi biochar dan pupuk fosfat terhadap berat kering biji per tanaman kedelai di tanah Ultisol

Jenis Biochar (B)	Dosis Pupuk Fosfat (P) (kg ha ⁻¹)			Rata-rata
	0	60	120	
--- Berat kering biji (g) ---				
Tanpa biochar	14,89	18,40	21,96	18,42
	A	A	A	A
	a	b	c	
BSP	15,05	18,97	22,49	18,84
	A	AB	AB	A
	a	b	c	
BJP	15,81	22,73	23,63	20,72
	A	C	B	C
	a	b	b	
BSP + BJP	15,44	20,06	23,29	19,60
	A	B	B	B
	a	b	c	
Rata-rata	15,30	20,04	22,84	(+)
	a	b	c	

Keterangan: angka yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji jarak berganda Duncan (UJBD) 5%. Huruf besar dibaca vertikal dan huruf kecil dibaca horizontal.

Berat kering biji per tanaman kedelai menunjukkan adanya interaksi antara biochar dan pupuk fosfat (Tabel 13). Aplikasi biochar jerami padi dan dosis pupuk fosfat 120 kg ha⁻¹ menunjukkan berat kering biji per tanaman kedelai tertinggi yaitu 23,63 g (meningkat 58,70% dibandingkan kontrol), namun tidak

berbeda nyata dengan aplikasi biochar jerami padi dan dosis pupuk fosfat 60 kg ha⁻¹ yaitu 22,73 g (meningkat 52,65% dibandingkan kontrol). Siregar *et al.* (2017) melaporkan, aplikasi biochar sekam padi dosis 18 ton ha⁻¹ dan pupuk fosfat 150 kg ha⁻¹ signifikan meningkatkan berat kering biji 86,41%. Barus (2016) juga melaporkan, penggunaan biochar sekam padi 10 ton ha⁻¹ dan kompos 10 ton ha⁻¹ signifikan meningkatkan berat biji kedelai 41% dibandingkan kontrol. Sebaliknya, Sampurno *et al.* (2016) penggunaan biochar limbah padi dan pupuk organik cair tidak meningkatkan bobot kering biji kedelai secara signifikan, akan tetapi dosis biochar 12 ton ha⁻¹ signifikan meningkatkan bobot kering biji kedelai 23,99% dibandingkan kontrol.

Berat kering biji merupakan ukuran tingkat ketersediaan dan suplai fotoasimilat yang dihasilkan dari proses fotosintesis pada fase perkembangan embrio (biji). Pola translokasi fotoasimilat akan mengalami perubahan setelah fase pembungaan. Translokasi fotoasimilat ke organ biji berperan penting terhadap perkembangan embrio (biji), menentukan jumlah dan berat biji. Menurut Egli (2010), kurangnya suplai fotoasimilat meningkatkan polong hampa, sementara pada polong yang masih dapat menghasilkan biji umumnya memiliki ukuran lebih kecil. Suplai fotoasimilat yang cukup akan meningkatkan komponen hasil tanaman kedelai. Sejalan dengan He *et al.* (2019), peningkatan serapan fosfor signifikan meningkatkan jumlah bunga, jumlah polong, jumlah polong berisi per tanaman.

Indeks Panen

Indeks panen tanaman kedelai menunjukkan perlakuan biochar secara tunggal dan pupuk fosfat secara tunggal tidak berpengaruh terhadap indeks panen tanaman kedelai (Tabel 14). Lusiba *et al.* (2017) melaporkan aplikasi pupuk fosfat dengan 5 dan 10 ton ha⁻¹ tidak signifikan meningkatkan indeks panen, aplikasi pupuk fosfat menurunkan indeks panen tanaman buncis pada perlakuan 20 ton ha⁻¹. Selanjutnya Arabi

et al. (2018) penggunaan biochar dan pupuk hayati tidak meningkatkan indeks panen tanaman kedelai, akan tetapi penggunaan biochar secara tunggal meningkatkan indeks panen tanaman kedelai pada kisaran 0,02-0,06% dibandingkan kontrol. Sementara Berek dan Neonbeni (2018) melaporkan penggunaan jenis biochar dan pupuk kandang sapi tidak meningkatkan indeks panen kacang hijau, demikian pula pengaruh tunggal masing-masing faktor.

Tabel 14. Pengaruh biochar dan pupuk fosfat terhadap indeks panen tanaman kedelai di tanah Ultisol

Perlakuan	Indeks panen
	--- % ---
Jenis biochar:	
Tanpa biochar	51,54 a
BSP	51,32 a
BJP	52,25 a
BSP + BJP	51,70 a
Dosis pupuk fosfat:	
0 kg ha-1	50,77 a
60 kg ha-1	52,05 a
120 kg ha-1	52,28 a

Keterangan: angka yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji jarak berganda Duncan (UJBD) 5%.

Indeks panen merupakan perbandingan berat biji dengan berat total biomassa tanaman. Secara keseluruhan, indeks panen menunjukkan pola translokasi fotoasimilat ke organ polong dan biji sebagai *sink*. Selain koneksi vaskular alami dan jarak antara *source* dan *sink*, menurut Basuchaudhuri (2016) salah satu faktor yang memiliki pengaruh signifikan terhadap arah translokasi adalah permintaan *sink* terhadap fotoasimilat yang disebut *sink strength* (kekuatan pengguna). Terdapat dua faktor yang mempengaruhi *sink strength* yaitu *sink size* (ukuran pengguna) dan *sink activity* (aktivitas pengguna). *Sink size* adalah kemampuan buah mengakumulasi karbon dalam jumlah tertentu, kemampuan ini ditentukan oleh genetik selama faktor lingkungan bukan menjadi faktor pembatas. Selanjutnya *sink activity* adalah seluruh aktivitas sel *sink* meliputi *unloading* fotoasimilat dari *sieve element* jalur *symplast*

dan *apoplast*, proses metabolisme di dalam dinding sel dan proses metabolisme yang menggunakan fotosintat untuk tumbuh dan atau diakumulasikan.

Sink activity dipengaruhi beberapa faktor diantaranya ekspresi gen *sucrose synthase* (enzim penyederhana sukrosa), turgor sel dan regulasi hormon (Kambhampati et al., 2017). Ekspresi gen yang memproduksi *sucrose synthase* umumnya diregulasi oleh suplai karbohidrat, gen akan terekspresi apabila sukrosa dalam kondisi melimpah sehingga dengan cepat disintesis menjadi pati oleh enzim *sucrose synthase*. Selanjutnya turgor sel, Basuchaudhuri (2016) menyatakan bahwa turgor sel dipengaruhi aktivitas proton yang di pompa oleh ATP-ase pada membran plasma yang dapat mengubah pola translokasi. Faktor selanjutnya adalah regulasi hormon, senyawa organik pembawa pesan yang menengahi komunikasi antar sel. Hingga saat ini, hormon masih memiliki peran penting meregulasi pertumbuhan dan perkembangan tanaman dan dalam setiap fotoasimilat yang ditranslokasikan membawa senyawa organik prekursor hormon. Hormon berfungsi sebagai molekul pembawa sinyal yang memicu ekspresi gen yang menginisiasi pembentukan enzim *sucrose synthase* yang bertugas menghidrolisis sukrosa menjadi bentuk yang lebih sederhana untuk dapat disintesis menjadi pati. Sejalan dengan Monpara et al. (2019), hormon tanaman merupakan molekul pembawa sinyal yang mengatur hampir seluruh proses pertumbuhan dan perkembangan tanaman termasuk *sink size* dan akumulasi bahan kering pada proses pematangan biji. Dalam penelitian ini, *sink strength* cenderung lebih dipengaruhi faktor genetik, dan hanya sebagian kecil dipengaruhi faktor lingkungan yang di antaranya adalah suplai asimilat. Varietas toleran pada kondisi suplai asimilat yang rendah mampu mempertahankan turgor sel dan fungsi hormon dalam menjaga kestabilan *sink strength*. Hal ini sesuai dengan Kuswantoro (2017) yang menyatakan bahwa varietas tanaman toleran mampu mengurangi penurunan hasil pada kondisi lingkungan suboptimal.

Hasil Per Hektar

Tabel 15. Pengaruh interaksi biochar dan pupuk fosfat terhadap hasil per hektar tanaman kedelai di tanah Ultisol

Jenis Biochar (B)	Dosis Pupuk Fosfat (P) (kg ha ⁻¹)			Rata-rata
	0	60	120	
--- Hasil per hektar (ton ha ⁻¹) ---				
Tanpa biochar	1,39 A a	1,62 A b	2,10 A c	1,70 A
BSP	1,41 A a	1,72 AB b	2,14 AB c	1,76 AB
BJP	1,49 A a	2,15 C b	2,26 B b	1,96 C
BSP + BJP	1,45 A a	1,80 B b	2,22 AB c	1,82 B
Rata-rata	1,43 a	1,82 b	2,18 c	(+)

Keterangan: angka yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji jarak berganda Duncan (UJBD) 5%. Huruf besar dibaca vertikal dan huruf kecil dibaca horizontal.

Hasil per hektar tanaman kedelai menunjukkan adanya interaksi antara biochar dan pupuk fosfat (Tabel 15). Aplikasi biochar jerami padi dan dosis pupuk fosfat 120 kg ha⁻¹ menunjukkan hasil per hektar tanaman kedelai tertinggi yaitu 2,26 ton ha⁻¹ (meningkat 62,59% dibandingkan kontrol), namun tidak berbeda nyata dengan aplikasi biochar jerami padi dan dosis pupuk fosfat 60 kg ha⁻¹ yaitu 2,15 ton ha⁻¹ (meningkat 54,68% dibandingkan kontrol). Sa'adah dan Islami (2019) melaporkan penggunaan biochar sekam padi maupun jerami padi yang ditambahkan pupuk N tidak meningkatkan hasil per hektar tanaman kedelai. Selanjutnya Iswahyudi *et al.* (2018) juga melaporkan penggunaan dosis biochar dan pupuk NPK tidak meningkatkan produksi gabah per plot tanaman padi meskipun pengaruh tunggal pupuk NPK meningkatkan produksi gabah per plot 10,58-44,06% dan pengaruh tunggal dosis biochar meningkatkan produksi gabah per plot 12,42-27,09%. Sebaliknya, Fadhila *et al.* (2018) melaporkan

kombinasi penggunaan biochar sekam padi dengan pupuk kandang ayam 8 ton ha⁻¹ signifikan meningkatkan hasil per hektar tanaman kacang hijau 37,04% dibandingkan kontrol. Bagaimanapun, hasil penelitian ini menunjukkan aplikasi biochar dan pupuk fosfat meningkatkan hasil per hektar tanaman kedelai secara signifikan. Hasil per hektar menunjukkan korelasi positif nyata dengan parameter komponen hasil tanaman kedelai lainnya.

Laju Asimilasi Bersih

Tabel 16. Pengaruh interaksi biochar dan pupuk fosfat terhadap laju asimilasi bersih tanaman kedelai umur 42-49 hari setelah tanam di tanah Ultisol

Jenis Biochar (B)	Dosis Pupuk Fosfat (P) (kg ha ⁻¹)			Rata-rata
	0	60	120	
--- Laju asimilasi bersih (g dm ⁻² hari ⁻¹) ---				
Tanpa biochar	0,106 1 A a	0,1643 A b	0,2545 A c	0,1750 A
BSP	0,114 4 A a	0,1845 AB b	0,2595 AB c	0,1861 A
BJP	0,130 4 A a	0,2996 C b	0,2915 B b	0,2405 C
BSP + BJP	0,127 5 A a	0,2066 B b	0,2819 AB c	0,2053 B
Rata-rata	0,119 6 a	0,2138 b	0,2719 c	

Keterangan: angka yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji jarak berganda Duncan (UJBD) 5%. Huruf besar dibaca vertikal dan huruf kecil dibaca horizontal.

Laju asimilasi bersih tanaman kedelai umur 42 sampai dengan 49 hari setelah tanam menunjukkan adanya interaksi antara biochar dan pupuk fosfat (Tabel 16). Aplikasi biochar jerami padi dan dosis pupuk fosfat 60 kg ha⁻¹ menunjukkan laju asimilasi bersih tanaman kedelai tertinggi umur 42 sampai dengan 49 hari setelah tanam yaitu 0,2996 g dm⁻² hari⁻¹ (meningkat 182,38% dibandingkan kontrol).

Asante *et al.* (2020) melaporkan penggunaan biochar dosis 10 ton ha⁻¹ dan 200 kg ha⁻¹ pupuk NPK meningkatkan laju asimilasi bersih tanaman wortel dibandingkan pada dosis biochar 5 dan 0 ton ha⁻¹. Penggunaan pupuk P (50 kg P₂O₅) dan K (50 kg K₂O) meningkatkan laju asimilasi bersih pada perlakuan 0 ton ha⁻¹ biochar dan menurun secara konsisten saat dosis biochar ditingkatkan menjadi 5 dan 10 ton ha⁻¹, demikian pula penggunaan pupuk P (50 kg P₂O₅) dan K (100 kg K₂O). Penggunaan biochar 10 ton ha⁻¹ meningkatkan laju asimilasi bersih tanaman wortel pada perlakuan tanpa pupuk (Asante *et al.*, 2020).

Laju asimilasi adalah laju akumulasi bahan kering (¹⁴C₂) per satuan indeks luas daun per satuan waktu. Menurut Heyneke dan Fernie (2018), fotosintesis merupakan proses dasar (*fundamental*) dari produksi biomassa dan merupakan sebuah proses dinamis yang sangat sensitif terhadap lingkungan, proses fotosintesis meliputi fotofosforilasi (reaksi terang), siklus calvin, fotorespirasi dan metabolisme mitokondria (reaksi gelap). Reaksi terang merupakan proses sintesis molekul energi ATP yang memanfaatkan energi cahaya untuk mengoksidasi molekul H₂O pada kompleks fotosistem II (FSII). Proses ini menurut Soverda (2011), menghasilkan elektron yang ditransfer dari fotosistem II ke fotosistem I untuk mensintesis NADPH. Proses ini sangat sensitif terhadap ketersediaan air, sedangkan pada kompleks fotosistem I dipengaruhi ketersediaan fosfor (Pi). Oksidasi H₂O menghasilkan hasil samping berupa O₂, hasil lainnya yaitu H⁺ yang membawa elektron, proses oksidasi yang terus menerus meningkatkan konsentrasi H⁺ di lumen dan cenderung bergerak menuju stroma (yang memiliki konsentrasi H⁺ lebih rendah), selanjutnya H⁺ yang membawa elektron ini digunakan untuk menyintesis ATP di stroma (Fukuzumi *et al.*, 2018).

ATP dan NADPH yang dihasilkan dari proses fosforilasi merupakan sumber energi yang paling dominan digunakan dalam menjalankan siklus calvin (Fukuzumi *et al.*, 2018). Siklus calvin merupakan proses pengikatan CO₂ yang dikonversi menjadi

senyawa organik kompleks berupa karbohidrat (C₆H₁₂O₆). CO₂ difiksasi melalui konduktansi stomata, menurut Heyneke dan Fernie (2018), konduktansi stomata dipengaruhi potensial osmotik H₂O dan ion K⁺ pada sel penjaga (*guard cell*). Selanjutnya CO₂ yang telah difiksasi dikonversi menjadi 3-fosfoglisarat dikatalis oleh enzim RuBisCo (ribulosa bisfosfat co-enzim/ fosfoenolpiruvat karboksilase). RuBisCo sangat dipengaruhi kondisi lingkungan, menurut Heyneke dan Fernie (2018) peningkatan asimilasi CO₂ sangat dipengaruhi peningkatan aktivitas enzim RuBisCo, lebih jauh Hartawan (2013) mengemukakan peningkatan enzim RuBisCo meningkat seiring peningkatan ketersediaan fosfor (Pi) dari ATP yang terdefosforilasi mereduksi ribulosa-5-fosfat (glukosa) menjadi RuBisCo. Soverda (2011) mengemukakan, CO₂ yang difiksasi RuBisCo dikonversi menjadi 3-fosfoglisarat dan dikonversi menjadi 1,3-bisfosfoglisarat menggunakan 6 molekul ATP, kemudian 1,3-bisfosfoglisarat dikonversi menjadi 6 gliseraldehida-3-fosfat (senyawa glukosa kompleks) menggunakan 6 molekul NADPH, 3 molekul CO₂ menghasilkan 1 molekul giseraldehida-3-fosfat, molekul ini kemudian dikonversi menjadi triosa fosfat (dihidroksi aseton fosfat) yang digunakan untuk menyintesis sukrosa di sitosol, polisakarida dinding sel dan senyawa-senyawa lainnya (McClain dan Sharkey, 2019).

Serapan P Tanaman

Serapan fosfor (P) tanaman kedelai umur 35 hari setelah tanam menunjukkan adanya interaksi antara biochar dan pupuk fosfat (Tabel 17). Aplikasi biochar jerami padi dan dosis pupuk fosfat 120 kg ha⁻¹ menunjukkan serapan fosfor tanaman kedelai umur 35 hari setelah tanam tertinggi yaitu 98,01 mg tanaman⁻¹ (meningkat 82,42% dibandingkan kontrol), namun tidak berbeda nyata dengan aplikasi biochar jerami padi dan dosis pupuk fosfat 60 kg ha⁻¹ yaitu 92,59 mg tanaman⁻¹ (meningkat 72,32% dibandingkan kontrol). Hartatik *et al.* (2015) melaporkan penggunaan biochar dan pupuk tidak

meningkatkan serapan fosfor tanaman kedelai, akan tetapi penggunaan biochar signifikan meningkatkan 23,58% serapan fosfor tanaman kedelai dibandingkan kontrol. Sementara Zulfita *et al.* (2020) melaporkan penggunaan biochar dengan dosis 10 ton ha⁻¹ dan pupuk NPK 200 kg ha⁻¹ (50% rekomendasi) menunjukkan serapan P tanaman jagung manis tertinggi yaitu sebesar 158,01 g tanaman⁻¹, meningkat signifikan dibanding perlakuan dosis biochar dan dosis NPK lainnya.

Tabel 17. Pengaruh interaksi biochar dan pupuk fosfat terhadap serapan fosfor tanaman kedelai umur 35 hari setelah tanam di tanah Ultisol

Jenis Biochar (B)	Dosis Pupuk Fosfat (P) (kg ha ⁻¹)			Rata-rata
	0	60	120	
--- Serapan fosfor tanaman (mg tanaman ⁻¹) ---				
Tanpa biochar	53,73 A a	76,39 A b	91,73 A c	73,95 A
BSP	55,34 A a	79,82 AB b	92,57 AB c	75,91 AB
BJP	56,14 A a	92,59 C b	98,01 B b	82,25 C
BSP + BJP	55,89 A a	83,58 B b	96,37 AB c	78,61 B
Rata-rata	55,28 a	83,10 b	94,67 c	

Keterangan: angka yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji jarak berganda Duncan (UJBD) 5%. Huruf besar dibaca vertikal dan huruf kecil dibaca horizontal.

Menurut Reichardt dan Timm (2020) pergerakan air dan hara menuju akar dipengaruhi sifat-sifat fisik dan kimia tanah di antaranya konten air tanah (*soil water content*), udara tanah (*soil air*), tekstur tanah, temperatur tanah, kapasitas tukar kation tanah dan pH tanah. Selain itu, peningkatan kapasitas tukar kation meningkatkan aktivitas dan mobilisasi kation monovalen dan bivalen seperti K⁺, Ca²⁺ dan Mg²⁺ sehingga transportasi hara-hara anion seperti H₂PO₄⁻ menuju permukaan akar meningkat (Reichardt dan Timm, 2020).

Mekanisme masuknya unsur hara ke dalam sel akar tanaman di antaranya melalui pertukaran H⁺ dengan K⁺ melalui kontak antara akar dengan partikel tanah, pertukaran H⁺ dengan K⁺ melalui kontak antara akar dengan larutan tanah, difusi Ca melalui larutan tanah dari konsentrasi tinggi ke rendah, bersama air melalui aliran massa dan pertumbuhan akar mendekati sumber hara (intersepsi akar).

KESIMPULAN

1. Tidak terdapat interaksi aplikasi biochar dan pupuk fosfat terhadap tinggi tanaman, jumlah bunga per tanaman, jumlah cabang produktif per tanaman, persentase *fruit set* per tanaman dan indeks panen tanaman kedelai. Bagaimanapun, aplikasi pupuk fosfat signifikan meningkatkan jumlah bunga per tanaman kedelai. Terdapat interaksi antara aplikasi biochar dan pupuk fosfat terhadap luas daun, jumlah polong per tanaman, jumlah polong berisi per tanaman, berat kering biomassa per tanaman, berat kering biji per tanaman, hasil per hektar, laju asimilasi bersih dan serapan fosfor tanaman kedelai di tanah Ultisol.
2. Aplikasi biochar jerami padi dengan dosis 15 ton ha⁻¹ dan dosis pupuk fosfat 60 kg ha⁻¹ meningkatkan luas daun 36,74%, jumlah polong per tanaman 39,96%, jumlah polong berisi per tanaman 47,61%, berat kering biomassa per tanaman 46,82%, berat kering biji per tanaman 52,65%, hasil per hektar 54,68%, laju asimilasi bersih 182,38% dan serapan fosfor tanaman 72,32%.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdurachman, A., A. Dariah dan A. Mulyani. 2008. Strategi dan teknologi pengelolaan lahan kering mendukung pengadaan pangan nasional. *Penelitian dan Pengembangan Pertanian* 27: 43-49.
- Abideen, Z., H.-W. Koryo, B. Huchzermeyer dan B. Gul. 2020. Impact of a biochar or a compost-biochar mixture on water relation, nutrient uptake and

- photosynthesis of *Phragmites karka*. *Pedosphere* 30: 466-477.
- Adeli, A., K. R. Sistani, D. E. Rowe dan H. Tewolde. 2005. Effects of broiler litter on soybean production and soil nitrogen and phosphorus concentrations. *Agronomy* 97: 314-321.
- Adisarwanto. 2014. Kedelai Tropika Produktivitas 3 ton/ha. Penebar Swadaya, Jakarta.
- Ali, F., Sakhidin dan Darjanto. 2019. Kerontokan bunga dan polong tiga varietas kedelai pada pemberian urin sapi dan kambing. *Agrovigor* 12: 59-63.
- Arabi, Z., H. Eghtedaey, B. Gharehchmaghloo dan A. Faraji. 2018. Effects of biochar and bio-fertilizer on yield and qualitative properties of soybean and some chemical properties of soil. *Geosciences* 672: 1-9.
- Asante, K., M. E. Essilfie dan J. Manu-Aduening. 2020. Influence of different rates of fertilizer and biochar on growth and yield of carrot (*Daucus carota*) in the forest savannah transitional zone of ghana. *Research in Crop Science* 5: 21-39.
- Bachtiar, M. Ghulamahdi, M. Melati, D. Guntoro dan A. Sutandi. 2016. Kebutuhan nitrogen tanaman kedelai pada tanah mineral dan mineral bergambut dengan budi daya jenuh air. *Penelitian Pertanian Tanaman Pangan* 35: 217-228.
- Balai Penelitian Aneka Kacang dan Umbi. 2019. Potensi kedelai provinsi Jambi. Balai Penelitian Tanaman Aneka Kacang dan Umbi, Jambi.
- Balai Penelitian Tanah. 2009. Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air, dan Pupuk. Balai Penelitian Tanah, Bogor.
- Barus, J. 2016. Soil chemical properties and soybean yield due to application of biochar and compost of plant straw. *Tropical Soil* 21: 1-7.
- Basuchaudhuri, P. 2016. Source-sink relationships in soybean. *Plant Sciences* 5: 19-25.
- Berek, F. N. dan E. Y. Neonbeni. 2018. Pengaruh jenis biochar dan takaran pupuk kandang sapi terhadap pertumbuhan dan hasil kacang hijau (*Vigna radiata* L.). *Savana Cendana* 3: 53-57.
- Carstensen, A., A. Herdean, S. B. Schmidt, A. Sharma, C. Spetea, M. Pribil dan S. Husted. 2018. The impacts of phosphorus deficiency on the photosynthetic electron transport chain. *Plant Physiology* 177: 271-284.
- Ch'ng, H. Y., O. H. Ahmed, N. M. A. Majid dan M. B. Jalloh. 2017. Reducing soil phosphorus fixation to improve yield of maize on a tropical acid soil using compost and biochar derived from agro-industrial straws. *Compost Science & Utilization* 25: 1-13.
- Chu, S., H. Li, X. Zhang, K. Yu, M. Chao, S. Han dan D. Zhang. 2018. Physiological and proteomics analyses reveal low-phosphorus stress affected the regulation of photosynthesis in soybean. *International Journal of Molecular Sciences* 19: 1-16.
- Dang, T., P. Marschner, R. Fitzpatrick dan L. M. Mosley. 2018. Assessment of the binding of protons, Al and Fe to biochar at different pH values and soluble metal concentrations. *Water, Air, & Soil Pollution* 10: 1-9.

- Dang, T., L. M. Mosley, R. Fitzpatrick dan P. Marschner. 2015. Organic materials differ in ability to remove protons, iron and aluminium from acid sulfate soil drainage water. *Water, Air, & Soil Pollution* 357: 1-13.
- Dugdug, A. A., S. X. Chang, Y. S. Ok, A. U. Rajapaksha dan A. Anyia. 2018. Phosphorus sorption capacity of biochars varies with biochar type and salinity level. *Environmental Science and Pollution Research* 25: 25799–25812.
- Egli, D. B. 2010. Soypod: a model of fruit set in soybean. *Agronomy* 102: 39-47.
- Endriani dan A. Kurniawan. 2018. Konservasi tanah dan karbon melalui pemanfaatan biochar pada pertanaman kedelai. *Ilmu Terapan Universitas Jambi* 2: 93-106.
- Erisa, D., Munawar dan Zuraida. 2018. Kajian fraksionasi fosfor (P) pada beberapa pola penggunaan lahan kering ultisol di desa Jalin Jantho Aceh Besar. *Ilmiah Mahasiswa* 3: 620-628.
- Ermadani, A. Muzar dan I. A. Mahbub. 2011. Pengaruh residu kompos tandan buah kosong kelapa sawit terhadap beberapa sifat kimia Ultisol dan hasil kedelai. *Penelitian Universitas Jambi Seri Sains* 13: 11-18.
- Esrita, B. Ichwan dan Irianto. 2011. Pertumbuhan dan hasil tomat pada berbagai bahan organik dan dosis trichoderma. *Penelitian Universitas Jambi Seri Sains* 13: 37-42.
- Fadhila, S. A., A. S. Karyawati dan T. Islami. 2018. Pengaruh aplikasi kombinasi biochar dan macam bahan organik terhadap pertumbuhan dan hasil kacang hijau (*Vigna radiata* L.). *Produksi Tanaman* 6: 2743-2751.
- Fahrizal, I., A. Rahayu dan N. Rochman. 2017. Respon tanaman kedelai terhadap inokulasi mikoriza asbuskula dan pemberian pupuk fosfor pada tanah masam. *Agronida* 3: 95-106.
- Firmansyah, I., M. Syakir dan L. Lukman. 2017. Pengaruh kombinasi dosis pupuk N, P, dan K terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman terung (*Solanum melongena* L.). *Hortikultura* 27: 69-78.
- Fukuzumi, S., Y. M. Lee dan W. Nam. 2018. Artificial photosynthesis for production of ATP, NAD(P)H, and hydrogen peroxide. *ChemPhotoChem* 2: 121-135.
- Gardner, F. P., R. B. Pearce dan L. Mitchell. 1991. Fisiologi Tanaman Budidaya. Universitas Indonesia Press, Jakarta.
- Guerena, D. T., J. Lehmann, J. E. Thies, A. Enders, N. Karanja dan H. Neufeldt. 2015. Partitioning the contributions of biochar properties to enhanced biological nitrogen fixation in common bean (*Phaseolus vulgaris*). *Biology and Fertility of Soils* 51: 479-491.
- Hadi, S. 1982. Metodologi Research. Yayasan Penerbitan Fakultas Psikologi Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Hamidah. 2013. Efek penggunaan pupuk daun bayfolan dan pupuk sp-36 terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman melon (*Cucumis melo* L.) varietas action 434. *Agrifor* 12: 148-155.
- Hartatik, W., H. Wibowo dan J. Purwani. 2015. Aplikasi biochar dan tithoganic dalam peningkatan produktivitas kedelai (*Glycine max* L.) pada Typic Kanhapludults di Lampung Timur. *Jurnal Tanah dan Iklim* 39: 51-62.
- Hartawan, R. 2013. Pengubahan komposisi cadangan makanan benih kedelai

- dengan perlakuan nitrogen dan fosfor. *Ilmiah Universitas Batanghari* 13: 81-88.
- Hasibuan, H. S., D. Sopandie, Trikoesoemaningtyas dan D. Wirnas. 2018. Pemupukan N, P, K, dolomit, dan pupuk kandang pada budidaya kedelai di lahan kering masam. *Agronomy Indonesia* 46: 175-181.
- He, J., Y. Jin, N. C. Turner, Z. Chen, H.-Y. Liu, X.-L. Wang, K. H. M. Siddique dan F.-M. Li. 2019. Phosphorus application increases root growth, improves daily water use during the reproductive stage, and increases grain yield in soybean subjected to water shortage. *Environmental and Experimental Botany* 166: 103816-103827.
- Herawati, N. 2019. Panduan Lengkap & Praktis Budidaya Kedelai Yang Paling Menguntungkan. Garuda Pustaka, Yogyakarta.
- Heyneke, E. dan A. R. Fernie. 2018. Metabolic regulation of photosynthesis. *Biochemical Society Transactions* 46: 321-328.
- Hong, C. dan S. Lu. 2018. Does biochar affect the availability and chemical fractionation of phosphate in soils. *Environmental Science and Pollution Research* 25: 8725-8734.
- Indrayati, L. dan S. Umar. 2011. Pengaruh pemupukan N, P, K dan bahan organik terhadap pertumbuhan dan hasil kedelai di lahan sulfat masam bergambut. *Agrista* 15: 94-101.
- Istikhori, R., A. Rasyad dan Wardati. 2016. Serapan fosfor, pertumbuhan dan produksi beberapa varietas kedelai (*Glycine max* L. Merril) yang diberi pupuk fosfor. *JOM Faperta* 3: 1-8.
- Iswahyudi, I. Saputra dan Irwandi. 2018. Pengaruh pemberian pupuk NPK dan biochar terhadap pertumbuhan dan hasil padi sawah (*Oryza sativa* L.). *Agrosamudra* 5: 14-23.
- Jeong, C. Y., S. K. Dodla dan J. J. Wang. 2015. Fundamental and molecular composition characteristics of biochars produced from sugarcane and rice crop residues and by-products. *Chemosphere* 142: 4-13.
- Kambhampati, S., L. V. Kurepin, A. B. Kisiala, K. E. Bruce, E. R. Cober, M. J. Morrison dan R. J. N. Emery. 2017. Yield associated traits correlate with cytokinin profiles in developing pods and seeds offield-grown soybean cultivars. *Field Crops Research* 214: 175-184.
- Kementerian Pertanian. 2018. Statistik Pertanian 2018. Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian Kementerian Pertanian Republik Indonesia, Jakarta.
- Khaerunnisa, A., A. Rahayu dan S. A. Adimihardja. 2015. Perbandingan pertumbuhan dan produksi kedelai edamame (*Glycine max* (L.) Merr.) pada berbagai dosis pupuk organik dan pupuk buatan. *Agronida* 1: 11-20.
- Khanam, M., M. S. Islam, M. H. Ali, I. F. Chowdhury dan S. M. Masum. 2016. Performance of soybean under different levels of phosphorus and potassium. *Bangladesh Agronomy* 19: 99-108.
- Kizito, S., T. Lv, S. Wu, Z. Ajmal, H. Luo dan R. Dong. 2017. Treatment of anaerobic digested effluent in biochar-packed vertical flow constructed wetland columns: role of media and tidal operation. *Science of the Total Environment* 592: 197-205.

- Koesrini, K. Anwar dan E. Berlian. 2015. Penggunaan kapur dan varietas adaptif untuk meningkatkan hasil kedelai di lahan sulfat masam aktual. *Berita Biologi* 14: 155-161.
- Kuswantoro, H. 2017. Genetic variability and heritability of acid-adaptive soybean promising lines. *Biodiversitas* 18: 378-382.
- Leng, L., X. Yuan, H. Huang, J. Shao, H. Wang, X. Chen dan G. Zeng. 2015. Bio-char derived from sewage sludge by liquefaction: characterization and application for dye adsorption. *Applied Surface Science* 346: 223-231.
- Lestari, S. A. D. dan A. Harsono. 2017. Pengaruh pembenah tanah dan inokulan rhizobium terhadap hasil kedelai pada tanah Ultisol. *Buletin Palawija* 15: 8-14.
- Li, J., J. Fan, D. Liu, Z. Hu dan J. Zhang. 2018. Enhanced nitrogen removal in biochar-added surface flow constructed wetlands: dealing with seasonal variation in the north China. *Environmental Science and Pollution Research* 2: 1-10.
- Liu, L., Y. Wang, X. Yan, J. Li, N. Jiao dan S. Hu. 2017. Biochar amendments increase the yield advantage of legume-based intercropping systems over monoculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 237: 16-23.
- Lusiba, S., J. Odhiambo dan J. Ogola. 2017. Growth, yield and water use efficiency of chickpea (*Cicer arietinum*): response to biochar and phosphorus fertilizer application. *Archives of Agronomy and Soil Science* 64: 819-833.
- Maftu'ah, E. dan D. Nursyamsi. 2015. Potensi berbagai bahan organik rawa sebagai sumber biochar, 776-781. *Prosiding Seminar Jurnal Biodiversity Indonesia*.
- Mao, T., J. Li, Z. Wen, T. Wu, C. Wu, S. Sun, B. Jiang, W. Hou, W. Li, Q. Song, D. Wang dan T. Han. 2017. Association mapping of loci controlling genetic and environmental interaction of soybean flowering time under various photothermal conditions. *Biomedcentral Genomics* 18: 1-17.
- McClain, A. M. dan T. D. Sharkey. 2019. Triose phosphate utilization and beyond: from photosynthesis to end product synthesis. *Experimental Botany* 70: 1755-1766.
- Monpara, J. K., K. S. Chudasama dan V. S. Thaker. 2019. Role of phytohormones in soybean (*Glycine max*) seed development. *Plant Physiology* 66: 992-998.
- Mosley, L. M., P. Willson, B. Hamilton, G. Butler dan R. Seaman. 2015. The capacity of biochar made from common reeds to neutralise pH and remove dissolved metals in acid drainage. *Environmental Science and Pollution Research* 22: 15113-15122.
- Munch, E. 1930. *Die Stoffbewegungen in der Pflanze*. Gustav Fischer Jena, Germany.
- Nasution, L. W. 2017. Pengaruh aplikasi bahan organik dan pupuk P terhadap pertumbuhan dan hasil kedelai (*Glycine max* (L.) Merrill) pada bulan kering (klasifikasi oldeman). *Thesis*, Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Nurida, N. L., Jubaedah dan A. Dariah. 2019. Peningkatan produktivitas padi gogo pada lahan kering masam akibat aplikasi pembenah tanah biochar. *Penelitian Pertanian Tanaman Pangan* 3: 67-74.

- Nurida, N. L., Sutono dan Muchtar. 2017. Pemanfaatan biochar kulit buah kakao dan sekam padi untuk meningkatkan produktivitas padi sawah di Ultisol Lampung. *Pengkajian dan Pengembangan Teknologi Pertanian* 20: 69-80.
- Nursyamsi, D. 2006. Kebutuhan hara kalium tanaman kedelai di tanah Ultisol. *Ilmu Tanah dan Lingkungan* 6: 71-81.
- Phiri, A. T., E. M. Muindi, J. O. Omollo, R. Yegon dan D. Kausiwa. 2017. Inoculated soybean yields response to nitrogen and phosphorus application. *International Journal of Plant & Soil Science* 10: 1-7.
- Ramadhan, R. A. W., M. Baskara dan A. Suryanto. 2014. Pengaruh pemberian pupuk npk terhadap fruit set tanaman jeruk manis (*Citrus sinensis* Osb.) var. Pacitan. *Produksi Tanaman* 3: 212-217.
- Reichardt, K. dan L. C. Timm. 2020. How plants absorb nutrients from the soil. *Soil, Plant and Atmosphere* 1: 313-330.
- Ritung, S., E. Suryani, D. Subardja, Sukarman, K. Nugroho, Suparto, Hikmatullah, A. Mulyani, C. Tafakresnanto, Y. Sulaeman, R. E. Subandiono, Wahyunto, Ponidi, N. Prasodjo, U. Suryana, H. Hidayat, A. Priyono dan W. Supriatna. 2015. Sumber daya lahan pertanian Indonesia: luas, penyebaran dan potensi ketersediaan. IAARD Press, Jakarta.
- Rukmana, R. dan H. Yudirachman. 2014. Budi Daya dan Pengolahan Hasil Kacang Kedelai Unggul. Nuansa Aulia, Bandung.
- Sa'adah, N. dan T. Islami. 2019. Pengaruh pemberian macam biochar dan pupuk n terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman kedelai (*Glycine max* L.). *Produksi Tanaman* 7: 2077-2083.
- Sampurno, M. H., Y. Hasanah dan A. Barus. 2016. Respons pertumbuhan dan produksi kedelai (*Glycine max* (L.) Merrill) terhadap pemberian biochar dan pupuk organik cair. *Agroekoteknologi* 4: 2158-2166.
- Silva, A. J. d., J. R. M. Filho, C. R. G. Sales, R. C. d. M. Pires dan E. C. Machado. 2018. Source-sink relationships in two soybean cultivars with indeterminate growth under water deficit. *Bragantia* 77: 23-35.
- Simanjuntak, J., C. Hanum dan D. S. Hanafiah. 2015. Pertumbuhan dan produksi dua varietas kedelai pada cekaman kekeringan. *Agroekoteknologi* 3: 915-922.
- Siregar, D. A., R. R. Lahay dan N. Rahmawati. 2017. Respons pertumbuhan dan produksi kedelai (*Glycine max* (L. Merrill) terhadap pemberian biochar sekam padi dan pupuk P. *Agroekoteknologi* 5: 722-728.
- Sitompul, S. M. 1995. Analysis of Plant Growth. Universitas Gadjah Mada Press, Yogyakarta.
- Soverda, N. 2011. Studi karakteristik fisiologi fotosintetik tanaman kedelai toleran terhadap naungan. *Ilmu Pertanian Kultivar* 5: 1-11.
- Srihartanto, E., A. Anshori dan A. Iswadi. 2012. Produktivitas kedelai dengan berbagai jarak tanam di yogyakarta. *Prosiding Seminar Hasil Penelitian Tanaman Aneka Kacang dan Umbi Tahun 2015*: 152-154.
- Tamagno, S., V. O. Sadras, O. A. Ortez dan I. A. Ciampitti. 2020. Allometric analysis

- reveals enhanced reproductive allocation in historical set of soybean varieties. *Field Crops Research* 248: 107717-107724.
- Tim Balai Penelitian Tanah. 2018. Rekomendasi pemupukan tanaman kedelai pada berbagai tipe penggunaan lahan, 1-12. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- 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.). *Produksi Tanaman* 4: 611-616.
- Waqas, M., K. Yoon-Ha, A. L. Khan, R. Shahzad, S. Asaf, M. Hamayun, K. Sang-Mo, M. A. Khan dan L. In-Jung. 2017. Additive effects due to biochar and endophyte application enable soybean to enhance nutrient uptake and modulate nutritional parameters. *Zhejiang University-Science B (Biomedicine & Biotechnology)* 18: 109-124.
- Wijanarko, A. dan A. Taufiq. 2008. Penentuan kebutuhan pupuk P untuk tanaman kedelai, kacang tanah dan kacang hijau berdasarkan uji tanah di lahan kering masam Ultisol. *Buletin Palawija* 15: 1-8.
- Wu, Y., W. Gong, Y. Wang, T. Yong, F. Yang, W. Liu, X. Wu, J. Du, K. Shu, J. Liu, C. Liu dan W. Yang. 2018. Leaf area and photosynthesis of newly emerged trifoliolate leaves are regulated by mature leaves in soybean. *Plant Research* 131: 671-680.
- Yadav, A. K., T. P. Yadava dan B. D. Choudhury. 1994. Path coefficient analysis of the association of physiological traits with grain yield and harvest index in green gram. *Agricultural Science* 49: 86-90.
- Yao, Y., D. Wu, Z. Gong, J. Zhao dan C. Ma. 2018. Variation of nitrogen accumulation and yield in response to phosphorus nutrition of soybean (*Glycine max* L. Merr.). *Plant Nutrition* 41: 1138-1147.
- Yeboah, E., G. Asamoah, B. Kofi dan A. A. Abunyewa. 2016. Effect of biochar type and rate of application on maize yield indices and water use efficiency on an Ultisol in Ghana. *Energy Procedia* 93: 14-16.
- Yu, L., X. Lu, Y. He, P. C. Brookes, H. Liao dan J. Xu. 2016. Combined biochar and nitrogen fertilizer reduces soil acidity and promotes nutrient use efficiency by soybean crop. *Soils Sediments* 17: 599-610.
- Zhu, Q., L. J. Kong, Y. Z. Shan, X. D. Yao, H. J. Zhang, F. T. Xie dan X. Ao. 2019. Effect of biochar on grain yield and leaf photosynthetic physiology of soybean cultivars with different phosphorus efficiencies. *Integrative Agriculture* 18: 2242-2254.
- Zulfita, D., Surachman dan E. Santoso. 2020. Aplikasi biochar sekam padi dan pupuk NPK terhadap serapan N, P, K dan komponen hasil jagung manis di lahan gambut. *Ilmiah Hijau Cendekia* 5: 42-49.