

**RESPON PERTUMBUHAN DAN HASIL BAWANG MERAH
(*Allium ascalonicum* L.) VARIETAS RUBARU TERHADAP BIOCHAR SEKAM
PADI DAN MIKORIZA DI VERTISOL**

***Response of Growth and Yield of Red Onion (*Allium ascalonicum* L. var. Rubaru)
on a Vertisol due to Rice-Husk Biochar and Mycorrhizal Fungus Application***

Slamet Supriyadi^{1*}, Fahmi Arief Rahman¹, Beti Dwi Purwati²

¹Staff Pengajar Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Trunojoyo Madura. slamspy9@gmail.com; fahmi.rahman@trunojoyo.ac.id

² Mahasiswa Sarjana Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Trunojoyo Madura.

*) Penulis korespondensi

Diterima 21 September 2021; Disetujui 23 September 2022

ABSTRAK

Budidaya bawang merah di Vertisol pada musim hujan dihadapkan pada kendala fisik dan kimia tanah. Aplikasi biochar dan mikoriza dapat meningkatkan kualitas tanah baik sifat fisik dan kimia tanah Vertisol. Penelitian ini bertujuan mempelajari pengaruh interaksi mikoriza dengan biochar terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman bawang merah di Vertisol. Penelitian dilakukan di Kebun Percobaan Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Trunojoyo Madura dari bulan Desember 2018 - Februari 2019. Perlakuan disusun dalam Rancangan Petak Terbagi (RPT), dengan faktor pertama biochar sekam padi, dengan 2 taraf yaitu B0 (tanpa biochar) dan BI (biochar: 10 ton/ha); faktor kedua adalah mikoriza terdiri dari 4 taraf yaitu M0 (tanpa mikoriza), M1 (2.5 g/tanaman), M2 (5.0 g/tanaman) dan M3 (10.0 g/tanaman). Dari kombinasi kedua faktor tersebut didapatkan perlakuan 8 kombinasi dan setiap perlakuan diulang 4 kali sehingga secara keseluruhan terdapat 32 unit percobaan. Hasil penelitian menunjukkan tidak terdapat interaksi antara biochar sekam padi dan mikoriza terhadap semua parameter pengamatan. Biochar meningkatkan jumlah daun pada 4 dan 6 MST, jumlah akar, dan bobot basah umbi, dan kering umbi layak simpan. Pemberian mikoriza berpengaruh terhadap parameter jumlah daun 2 dan 6 MST, jumlah akar, bobot basah umbi, bobot kering umbi dan persen infeksi. Pemberian biochar sekam padi dan mikoriza meningkatkan hasil umbi secara berurutan hingga 17,21% dan 19,58% dibanding hasil pada kontrol.

Kata kunci: amandemen, fase vegetatif, mikroorganisme tanah.

ABSTRACT

Cultivating red onion on a Vertisol during rainy season could face to physical and chemical problems from the soil. Application of biochar and mycorrhiza can improve soil quality both physical and chemical properties of Vertisol. The objective of this study was to investigate the effect of rice husk biochar and arbuscular mycorrhizal fungus (AMF) on growth and yield of red onion grown on a vertisol. The research was carried out at the Agrotechnology Research Station, University of Trunojoyo Madura from December 2018 to February 2019. The experiments were arranged on Split Plot

Design (SPD) with the main plots were the biochar treatments and the sub plots were AMF applications. Two rates of biochar applications namely B0 (no biochar) and B1 (10 ton/ha), and four rates of AMF applications involving M0 (no mycorrhiza), M1 (2.5 g/plant), M2 (5 g/plant) and M3 (10 g/plant), were employed. No P fertilizer was applied on three AMF treatments (M1, M2, and M3). There were 8 combination treatments, and each treatment was replicated four times to end up in 32 experimental units. The results showed that there was no interaction between biochar and AMF treatments on all observed parameters. Biochar increased the number of leaves at 4 and 6 WAP (week after planting), the number of roots, and the weight of fresh tubers, and dry tubers that were suitable for storage. Mycorrhizal (AMF) application significantly influenced the number of leaves at 2 and 6 WAP, number of roots, wet weight of tubers, dry weight of tubers, and percentage of AMF root colonization. The application of rice husk biochar and AMF increased tuber yields respectively up to 17.21% and 19.58% compared to that of control.

Keywords: *amendment, vegetative phase, soil microorganism.*

PENDAHULUAN

Penanaman bawang merah di tanah liat seperti Vertisol dihadapkan pada permasalahan karakteristik fisik dan kimia tanah. Tanah vertisol akan mengembang ketika basah sehingga berdampak pada penutupan pori-pori tanah dan tanah menjadi lekat. Akibatnya draenase menjadi jelek sehingga pergerakan air terhambat dan air sukar hilang. Sedangkan sifat kimia Vertisol dengan pH tinggi mempunyai fosfat (P) tersedia yang rendah karena P difiksasi kalsium (Ca) (Supriyadi, 2007). Untuk mengatasi masalah ini diperlukan bahan pembenah tanah seperti biochar. Aplikasi biochar pada lahan pertanian mampu memperbaiki sifat fisik dan kimia tanah (Salawati *et al.* 2016), seperti meningkatkan 42,86% C-organik tanah (Rahman *et al.*, 2022), pH dan KTK (Chan *et al.*, 2008; Ismail *et al.* 2011).

Biochar dapat memperbaiki struktur dan kemantapan struktur Vertisol (Juriga *et al.*, 2018; Sun dan Lu, 2014), pori meso dan makro (Sun dan Lu, 2014; FungWong *et al.*, 2018), perbaikan pergerakan air dalam tanah (FungWong *et al.*, 2018). Biochar juga mengurangi nilai COLE (*Coefficient of Linier Extensibility*) atau sifat mengembang mengkerut Vertisol dan mengurangi terjadinya retakan (Zong *et al.*, 2014). Biochar sekam padi mampu meningkatkan agregasi, memantapkan struktur, meningkatkan porimeso, mengurangi plastisitas Vertisol (Lu *et al.*, 2014). Perbaikan sifat-sifat tanah ini dapat berimplikasi positif pada peningkatan produktivitas tanaman.

Perbaikan struktur Vertisol juga bisa dilakukan melalui penambahan mikroba tanah, terutama fungi (Rahman

et al., 2017). Salah satu fungi tanah penting adalah mikoriza yang hidup bersimbiosis dengan akar tanaman mampu meningkatkan agregasi tanah (Miller dan Jastrow, 2000). Mikoriza juga membantu meningkatkan P tersedia bagi tanaman (Smith dan Read, 2008). Mikoriza menghasilkan asam organik untuk melepaskan P yang terikat (Handayanto dan Chairiah, 2011) dan enzim *fosfatase* untuk melepaskan P organik hingga menjadi tersedia bagi tanaman (Prassard dan Dell, 2010). Tuheteru *et al.* (2012) menyatakan fungi mikoriza arbuskula (FMA) bermanfaat untuk meningkatkan serapan hara dan air, meningkatkan daya hidup dan pertumbuhan tanaman, memperbaiki kondisi biokimia dan fisiologi tanaman, proteksi tanaman terhadap serangan patogen akar dan mempengaruhi suksesi tanaman. Hasil penelitian Sumiati dan Gunawan (2006) memperlihatkan bahwa inokulasi mikoriza sebanyak 2-5 g/tanaman dapat meningkatkan bobot umbi bawang merah.

Aplikasi biochar dan FMA di Vertisol merupakan teknologi budidaya yang ramah lingkungan, akan memperbaiki sifat tanah untuk mendukung pertumbuhan bawang merah saat musim hujan. Biochar akan

memperbaiki sifat fisik tanah, meningkatkan porositas (Zong *et al.*, 2014), sehingga tanah menjadi lebih gembur, umbi bawang bisa berkembang. Biochar juga bisa berfungsi untuk fasilitasi berkembangnya fungi mikoriza (Warnock *et al.*, 2007; Hammer *et al.*, 2014). Mikoriza akan meningkatkan ketersediaan P, sehingga tanaman dapat mendapatkan P yang mencukupi.

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh interaksi biochar sekam padi dengan mikoriza terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman bawang merah yang ditanam di Vertisol pada saat musim hujan.

BAHAN DAN METODE

Bahan meliputi bawang merah varietas Rubaru (dari Kabupaten Sumenep), fungi mikoriza arbuskula (FMA), biochar sekam padi, pupuk SP-36, pupuk N (Urea dan ZA), pupuk K (KCl), fungisida dengan bahan aktif Mankozebe, Azoksistobin dan Difenokonazol. Bahan untuk analisis infeksi mikoriza meliputi KOH 10%, H₂O₂, HCl, tinta, cuka, dan larutan destaining. Alat meliputi peralatan untuk budidaya, neraca analitik, mikroskop binokuler (untuk pengamatan infeksi mikoriza) dan oven pengering.

Penelitian dilakukan saat musim hujan, dari Desember 2018 - Februari 2019

di Kebun Percobaan Agroteknologi Universitas Trunojoyo Madura. Perlakuan terdiri dari 2 faktor yaitu penambahan biochar sekam padi dan FMA yang disusun dalam Rancangan Petak Terbagi (RPT). Petak utama adalah biochar sekam padi, terdiri dari 2 (dua) taraf: 0 (B0) dan 10 ton/ha (B1), sedangkan anak petak adalah dosis FMA, terdiri dari 4 (empat) taraf yaitu 0 (M0), 2,5 (M1), 5 (M2) dan 10 g/tanaman (M3). Pada perlakuan M0 diberi pupuk P sebagai pupuk dasar dengan dosis 36 kg P₂O₅/ha, sedangkan M1, M2, dan M3 tidak ditambahkan pupuk P. Biochar sekam padi diberikan dengan cara disebar lalu diaduk secara merata dengan tanah sedalam ± 20 cm seminggu sebelum dilakukan penanaman. Perlakuan pupuk mikoriza diberikan 6 hari setelah penanaman bibit bawang merah (pada saat akar sudah mulai muncul) dengan cara memasukkan mikoriza di sekitar lubang tanam. Bawang merah ditanam dengan jarak tanam 20 x 15 cm pada petak percobaan berukuran 1 × 1 m.

Pemeliharaan tanaman meliputi pemupukan dengan dosis 81 kg N/ha, 36 kg P₂O₅/ha dan 72 kg K₂O/ha, serta penyirangan, pemberian air dan

pengendalian hama penyakit bersifat tentatif atau kondisional. Pemanenan dilakukan serempak pada umur 55 Hari setelah tanam (HST) dengan ciri-ciri daun tanaman bawang merah menguning dan mulai roboh.

Parameter yang diamati: 1) sifat tanah meliputi berat isi (BI), pH H₂O dan C-organik, dan 2) tanaman meliputi jumlah daun (helai), jumlah akar (helai), bobot akar (g), jumlah umbi (umbi), bobot basah umbi (g), bobot kering angin umbi (g), bobot total produksi (kg), infeksi akar oleh FMA (%). Data dianalisis menggunakan Analisis Sidik Ragam pada taraf α 5%, dan bila perlakuan berpengaruh nyata, dilanjutkan dengan uji BNT (beda nyata terkecil) pada taraf α 5% untuk mengetahui perlakuan yang terbaik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

BI, pH (H₂O) dan C organik Tanah

Hasil uji lanjut BNT menyatakan bahwa penambahan biochar secara signifikan menurunkan BI. Sedangkan pH (H₂O) dan C-organik memiliki kecenderungan meningkat sebesar 0.28 unit dan 98% dibandingkan dengan kontrol (Tabel 1).

Tabel 1. BI, pH, dan C-Organik Vertisol Kamal Madura Akibat Perlakuan Biochar Sekam Padi

Perlakuan	BI (g/m ³)	pH (H ₂ O)	C-organik (g/kg)
B0	0,92 a	6,74	15,8
B1	0,76 b	7,02	21,8
	*	tn	tn

Keterangan: tn (tidak nyata), * (taraf nyata pada α 5%) dan nilai yang diikuti dengan huruf yang sama dalam kolom yang sama pada uji lanjut BNT 5% menunjukkan pengaruh tidak berbeda nyata.

Tabel 2. Rerata Jumlah Daun Akibat Pengaruh Biochar Sekam Padi dan Mikoriza pada Umur 2,4 dan 6 MST di Vertisol Kamal Madura

Perlakuan	Jumlah Daun (helai) pada Umur Tanaman (MST)		
	2	4	6
B0	21	34 a	30 a
B1	23	37 b	34 b
BNT 5%	tn	*	tn
M0	19 a	31	27 a
M1	21 ab	38	36 b
M2	26 b	40	35 b
M3	21 ab	33	30 ab
BNT 5%	*	tn	*

Keterangan: tn (tidak nyata), * (taraf nyata pada α 5%) dan nilai yang diikuti dengan huruf yang sama dalam kolom yang sama pada uji BNT 5% menunjukkan pengaruh tidak berbeda nyata.

Pemberian biochar dapat menurunkan BI tanah karena bahan ini memiliki porositas yang tinggi yang berdampak pada peningkatan volume pori tanah (Mukherjee dan Lal, 2013). Berbeda dengan BI, parameter pH dan C-organik yang diamati meningkat. Biochar memiliki sifat alkalinitas seperti halnya kapur (Solaiman dan Anwar, 2015). Bahan amandemen ini juga mengandung senyawa rekalsitran sebagai sumber karbon tanah yang relatif stabil dan tidak mudah terdekomposisi (Glaser *et al.*, 2003; Hammond *et al.*, 2007).

Pertumbuhan tanaman bawang merah

Hasil penelitian memperlihatkan bahwa jumlah daun pada perlakuan B1 dan FMA 2,5-10 g/tanaman lebih banyak dibandingkan dengan jumlah daun pada kontrol (Tabel 2). Perlakuan tunggal biochar dengan dosis 10 ton/ha berpengaruh nyata pada jumlah daun umur 4 dan 6 MST namun tidak berpengaruh nyata pada umur 2 MST. Aplikasi FMA berpengaruh nyata terhadap jumlah daun umur 2 dan 6 MST; namun tidak berpengaruh pada 4 MST.

Berek *et al.* (2017), melaporkan aplikasi biochar 10 ton/ha berpengaruh secara langsung terhadap tanaman melalui penambahan unsur hara dan peningkatan produktivitas tanah.

Sandiwantoro *et al.* (2017), bahwa penambahan biochar sekam padi 10-12 ton/ha dapat meningkatkan serapan unsur hara yang tersedia dan akhirnya hasil tanaman. Biochar dapat meningkatkan produktivitas agronomi salah satunya karena pengaruh peningkatan C-organik tanah (Jarecki & Lal, 2003; Liu *et al.* 2006)

Perlakuan biochar dan FMA menghasilkan jumlah akar yang lebih banyak dibandingkan dengan perlakuan kontrol. Jumlah akar antar perlakuan aplikasi FMA 2.5-10 g tidak berbeda nyata, namun berbeda nyata dengan perlakuan tanpa FMA. Perlakuan biochar meningkatkan bobot akar sebesar 27.72% dan FMA sebesar 18.60% dibandingkan dengan bobot akar pada kontrol (Tabel 3). Perbedaan keragaan tanaman bawang merah disajikan dalam Gambar 1.

FMA memiliki efek positif pada tanaman inang bawang merah, kemungkinan mikoriza meningkatkan serapan hara khususnya P. Keefektifan FMA untuk menyediakan P pada bawang merah dalam penelitian ini diduga dari perlakuan; yang mana tidak ada tambahan pupuk P pada perlakuan mikoriza; namun produksinya lebih tinggi dari yang tidak bermikoriza (tanaman dipupuk P). Dalam

penelitian mikoriza cenderung meningkatkan bobot akar hingga 18,6%; berarti diduga kemampuan menyerap hara P (tidak mobile) meningkat. Peningkatan ini selain karena peningkatan akar tanaman, juga mikoriza mampu meningkatkan P tersedia bagi tanaman (Smith dan Read, 2008). Menurut Handayanto dan Chairiah (2011), FMA merupakan salah satu kelompok mikroorganisme yang dapat memacu serapan P dengan cara melarutkan Al-, Fe-, Ca- dan Mg-fosfat dengan melepaskan asam-asam organik sehingga menghasilkan pelepasan ortofosfat ke dalam larutan tanah. Mikoriza juga menghasilkan enzim fosfatase (Prassard dan Dell, 2010), untuk menguraikan P organik dalam tanah sehingga menjadi P tersedia bagi tanaman. Mikoriza kemungkinan juga menyerap P yang ada di biochar untuk diberikan ke tanaman bawang merah (Hammer *et al.*, 2014).

Infeksi akar pada perlakuan biochar cenderung meningkat sebesar 33,33%. Sedangkan perlakuan FMA meningkat sebesar 46,66% dibandingkan perlakuan kontrol (M0) yang menunjukkan tidak adanya infeksi. Rerata persentase infeksi akar FMA disajikan pada Tabel 3.



Gambar 1. Keragaan tanaman bawang merah ditanam di Vertisol Kamal Madura akibat perlakuan (a) B0M0 (kontrol), (b) B0M1, (c) B0M2, (d) B0M3, (e) B1M0, (f) B1M1, (g) B1M2, (h) B1M3

Tabel 3. Rerata jumlah dan bobot akar bawang merah serta infeksi akar akibat pengaruh biochar sekam padi dan mikoriza di Vertisol Kamal Madura

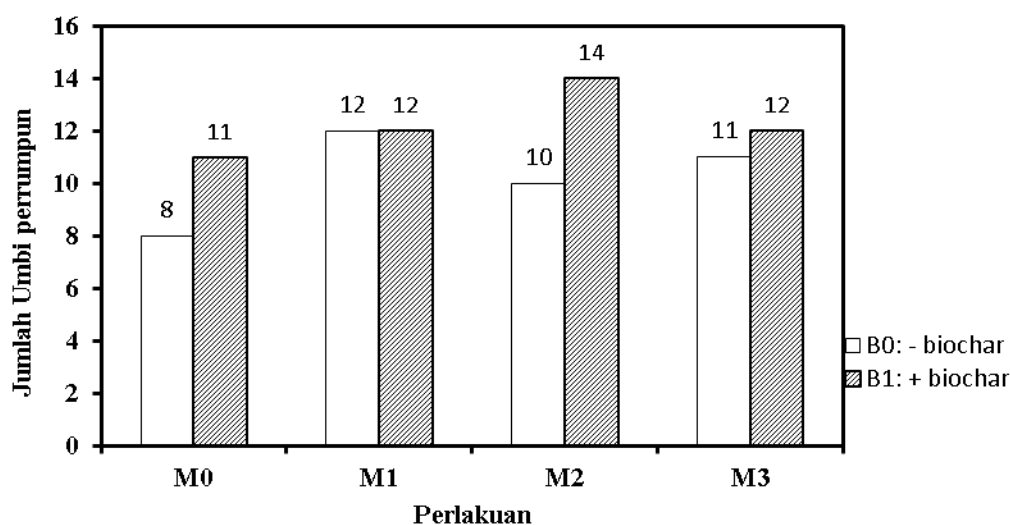
Perlakuan	Σ Akar Perumpun (helai)	Bobot Akar (g)	Infeksi akar (%)
B0	57 a	1.10	30
B1	67 b	1.35	40
BNT 5%	*	tn	tn
M0	55 a	1.07	0 a
M1	66 b	1.34	41 b
M2	65 b	1.30	48 b
M3	63 b	1.20	50 b
BNT 5%	*	tn	*

Keterangan: tn (tidak nyata), * (taraf nyata pada α 5%) dan nilai yang diikuti dengan huruf yang sama dalam kolom yang sama pada uji lanjut BNT 5% menunjukkan pengaruh tidak berbeda nyata.

Persen infeksi perlakuan M1 menunjukkan tingkat infeksi sedang, sedangkan perlakuan M2 dan M3 menunjukkan kriteria infeksi tinggi.

Persentase infeksi perlakuan kontrol berbeda nyata dengan perlakuan mikoriza 2-10 g; namun antar perlakuan aplikasi mikoriza sendiri tidak berbeda nyata.

Tingginya persentase infeksi pada akar tanaman bawang merah tampaknya dipengaruhi oleh penambahan biochar sekam padi dan perbedaan dosis mikoriza yang diberikan. Peningkatan konsentrasi mikoriza cenderung meningkatkan persen infeksi (Tabel 3).



Gambar 2. Rerata jumlah umbi perumpun akibat pengaruh biochar sekam padi dan FMA di Vertisol Kamal Madura

Tabel 4. Rerata bobot basah, bobot kering (angin) umbi perumpun dan bobot total umbi per petak akibat pengaruh biochar sekam padi dan FMA di Vertisol Kamal Madura

Perlakuan	Bobot Basah (g)	Bobot Kering (Angin) per rumpun (g)	Bobot Total Umbi perpetak (kg)
B0	41.34 a	35.10 a	1.51 a
B1	52.63 b	43.77 b	1.77 b
BNT 5%	*	*	*
M0	39.35 a	33.47 a	1.43 a
M1	51.30 b	43.62 b	1.68 a
M2	51.33 b	42.55 b	1.77 a
M3	45.97 ab	38.09 ab	1.69 a
BNT 5%	*	*	tn

Keterangan: tn (tidak nyata), * (taraf nyata pada α 5%) dan nilai yang diikuti dengan huruf yang sama dalam kolom yang sama pada uji lanjut BNT 5% menunjukkan pengaruh tidak berbeda nyata.

Hasil tanaman bawang merah

Perlakuan penambahan biochar dan FMA berpengaruh tidak nyata pada jumlah umbi perumpun. Rerata jumlah umbi secara berurutan meningkat sebesar 19,51% dan 20% pada perlakuan biochar dan FMA dibandingkan rerata jumlah umbi pada kontrol. Rerata jumlah umbi disajikan pada Gambar 2.

Aplikasi biochar berpengaruh nyata terhadap bobot basah dan bobot kering umbi perumpun serta bobot total hasil per petak. Aplikasi FMA berpengaruh nyata terhadap bobot basah dan kering umbi perumpun namun tidak berpengaruh nyata terhadap bobot hasil perpetak, dihitung berdasarkan hasil penimbangan semua tanaman bawang merah pada

setiap perlakuan dalam satu plot. Penambahan biochar 10 ton/ha meningkatkan bobot basah sebesar 27%, bobot kering 24% dan bobot hasil perpetak 17% dibandingkan dengan tanpa biochar. Sedangkan perlakuan FMA (2,5-10 g) meningkatkan bobot basah sebesar 25%, bobot kering 23% dan bobot hasil perpetak 19% dibandingkan dengan tanpa pemberian FMA (M0). Rata-rata bobot basah, kering angin umbi perumpun serta bobot hasil perpetak akibat pengaruh biochar dan FMA disajikan pada Tabel 4.

Peningkatan bobot kering dan bobot basah kemungkinan disebabkan sifat-sifat kimia tanah dan C organik (bahan organik) tanah dengan penambahan biochar sekam padi sebanyak 10 ton/ha. Hal serupa dikemukakan oleh Lal (2006) bahwa peningkatan 1 Mg C/ha dalam tanah akan meningkatkan produksi tanaman 20 - 300kg/ha tergantung pada macam tanaman dan kondisi tanah.

Hasil per petak meningkat dengan meningkatnya infeksi, hingga infeksi sedang, kemudian cenderung turun pada kondisi infeksi tinggi. Hal ini berarti infeksi sedang justru memiliki dampak yang baik bagi pertumbuhan dan produksi tanaman bawang merah di musim hujan. Pada kondisi infeksi tinggi, jumlah fotosintat yang harus diberikan oleh

tanaman ke mikoriza semakin banyak, sedangkan fotosintesis yang terjadi kemungkinan terhambat karena cuaca mendung di musim hujan, sehingga fotosintat yang disimpan untuk membentuk umbi berkurang. Menurut Johnson *et al.*, (1997) mikoriza dapat bersifat parasit karena pengaruh lingkungan seperti intensitas cahaya yang rendah untuk melakukan fotosintesis. Hal ini mengakibatkan terbatasnya pasokan C yang akan dialokasikan untuk pertumbuhan tanaman. Sedangkan mikoriza menguras cadangan C pada tanaman melebihi manfaatnya. Untuk itu perlu penelitian lebih lanjut untuk mempelajari efek parasit dari mikoriza ini pada musim yang berbeda seperti musim kemarau di mana fotosintesis bisa lebih maksimal.

KESIMPULAN

Hasil penelitian memperlihatkan perlakuan biochar meningkatkan jumlah daun pada 4 dan 6 MST, jumlah akar, dan bobot basah umbi, dan kering umbi layak simpan. Pemberian mikoriza berpengaruh terhadap parameter jumlah daun 2 dan 6 MST, jumlah akar, bobot basah umbi, bobot kering umbi dan persen infeksi. Pemberian biochar sekam padi dan mikoriza meningkatkan hasil umbi secara

berurutan hingga 17,21% dan 19,58% dibanding hasil pada kontrol. Biochar dan mikoriza secara terpisah dapat digunakan untuk memperbaiki teknologi budidaya bawang merah di tanah Vertisol saat musim hujan.

DAFTAR PUSTAKA

- Berek, AK., Tabati, PO., Keraf, UU., Bere, E., Taekab, R., Wora, A. 2017. Perbaikan Pertumbuhan dan Hasil Kacang Tanah di Tanah Entisol Semiarid melalui Aplikasi Biochar. *Jurnal Penelitian Konservasi Lahan Kering*. 2(3): 56–58.
- Chan, K, Y, van Zwieten, B, L, Meszaros, I, Downie, D, and Joseph, S, 2008. Using poultry litter biochars as soil amendment. *Australian Journal of Soil Research*, 45: 437-444.
- FungWong, JTF., Chen, Z., YanWong, AY., Waing, CW., HungWong, M. 2018. Effects of biochar on hydraulic conductivity of compacted kaolin clay. *Environmental Pollution* (234): 468-472
- Glaser, B., Balashov, E., Haumaier L., Guggenberger G., & Zech W. 2003. Black Carbon in Density Fractions of antropogenic Soil of the Brazilian Amazon region. *Organic Geochem*, 31: 669-678
- Hammer, EC., Balogh-Brunstad,Z., Jakobsen, I., Olsson, PA., Stipp, LSS. dan Rillig, MC. 2014 A mycorrhizal fungus grows on biochar and captures phosphorus from its surface. *Soil Biology and Biochemistry* (77):252-260
- Handayanto dan Hairiah. 2011. *Biologi Tanah: Landasan Pengelolaan Tanah Sehat*. Pustaka Adipura. Yogyakarta.
- Hammond, D., Steeg3, H., & Van der Borg, K. 2007. Upland Soil Charcoal in The West Tropical Forest of Central Guyana. *Biotropica*, 39(2): 153-160
- Ismail, M, Basri, A, B. 2011. Pemanfaatan Biochar Untuk Perbaikan Kualitas Tanah. Balai Pengkajian Teknologi Pertanian (BPTP) Aceh.
- Jarecki, MK., Lal, R. 2003. Crop Management for Soil Carbon Sequestration. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 22(5):471–502
- Johnson, NC., Graham, JH., Smith, FA. 1997. Functioning of Mycorrhizal Associations along the Mutualism-Parasitism Continuum. *New Phytol*. 135:575-585.
- Juriga, M., Šimanský, V., Horák, J., Kondrlová, E., Igaz, D., Pollakova, N., Buchkina, N., Balashov, E., 2018. The Effect of Different Rates of Biochar and Biochar in Combination with N Fertilizer on the Parameters of Soil Organic Matter and Soil Structure. *Journal of Ecological Engineering*, 19(6):153-161
- Lal, R. 2006. Enhancing Crop Yield in the Developing Countries through Restoration of the Soil Organic Matter Carbon Pool in Agricultural Land. *Land Degrad. Develop.* 17: 197–209
- Liu, X., Herbert, SJ., Hashemi, AM., Zhang, X., Ding, G. 2006. Effects of Agricultural Management on Soil Organic Matter and Carbon Transformation – a Review. *Plant Soil Environment*. 52 (12): 531–543
- Lu, S., Sun, F., Zong, Y. 2014. Effect of rice husk biochar and coal fly ash on some physical properties of expansive clayey soil (Vertisol). *Catena*, 114, 37-44.
- Miller RM., Jastrow JD. 2000. *Mycorrhizal Fungi Influence Soil*

- Structure. In: Kapulnik Y., Douds D.D. (eds) Arbuscular Mycorrhizas: Physiology and Function.* Springer, Dordrecht.
- Mukherjee, A., Lal, R. 2013. Biochar impacts on soil physical properties and greenhouse gas emissions. *Journal of Agronomy* 12: 313-339.
- Prassard, C., Dell, B. 2010 Phosphorus Nutrition of Mycorrhizal Trees. *Tree Physiology* 30 (9): 1129–1139.
- Rahman, MT., Zhu, QH., Zhang, ZB., Zhou, H., Peng. 2017. The roles of organic amendments and microbial community in the improvement of soil structure of a Vertisol. *Applied Soil Ecology* (111): 84-93
- Rahman, FA., Supriyadi, S. dan Mulyawan, R. 2022. Pengaruh Biochar dan Bentonit-eraktivasi Asam terhadap Sifat Kimia Tanah Lempung Liat Berpasir Bangkalan. *Jurnal Agroekotek* 14 (1): 80 - 92
- Salawati S., Basir-cyio M., Kadekoh I., dan Thaha, AR. 2016. Potensi Biochar Sekam Padi terhadap Perubahan pH, KTK, C organik dan P Tersedia pada Tanah Sawah Inceptisol. *Jurnal Agroland*. 23(2):101-109.
- Sandiwantoro, RT., Murdiono, WE., Islami, T. 2017. Pertumbuhan Dan Hasil Tanaman Jagung Manis (*Zea mays saccharata* Sturt). *Jurnal Produksi Tanaman*. 5(10): 1600–1607.
- Smith, SE., Read, DJ. 2008. *Mycorrhizal Symbiosis 3rd Edition*. Academic Press. London
- Solaiman, Z. M and H. M. Anawar. 2015. Application of Biochars for Soil Constraints: Challenges and Solution. *Pedosphere*, 25(5): 631- 638.
- Sumiati, E., Gunawan, OS. 2006. Aplikasi Pupuk Hayati Mikoriza Untuk Meningkatkan Efisiensi Serapan Unsur Hara NPK Serta Pengaruhnya Terhadap Hasil Dan Kualitas Umbi Bawang Merah. *Jurnal Hortikultura* 17 (1): 34-42.
- Sun, F., Lu, S. 2014, Biochars improve aggregate stability, water retention, and pore-space properties of clayey soil. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 177: 26-33.
- Supriyadi, S. 2007. Kesuburan tanah di lahan kering Madura. *Embriyo* 4 (2):124-131.
- Tuheteru, FD., Husna, Arif A., Mansur, I. 2012. *Pupuk Hayati Mikoriza Untuk Budidaya dan Rehabilitasi Wilayah Pantai*. Seameo Biotrop. Bogor.
- Warnock, DD, Lehmann, J., Kuyper, TW., Rillig, M.C., 2007. Mycorrhizal responses to biochar in soil – concepts and mechanisms. *Plant and Soil* (300): 9-20.
- Zong, Y., Chen, D., Lu, S., 2014. Impact of biochars on swell-shrinkage behavior, mechanical strength, and surface cracking of clay soil. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 177 (6): 920-926.