

## Pengaruh Aplikasi Biochar dan Mikroba Penyubur Tanah terhadap Produksi Tanaman Kacang Tanah pada Tanah Masam

Andi Fiqri Aulia Artsam<sup>1</sup>, Dwi Retno Lukiwati<sup>2</sup>, Susilo Budiyanto<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Program Studi Agroekoteknologi, Fakultas Peternakan dan Pertanian,  
Universitas Diponegoro, Semarang  
\*e-mail: fiqartsam@gmail.com

### ABSTRACT

*Utilization of acidic marginal land for the cultivation of peanuts results in uneven yield productivity. Acidic soil is soil with a low base saturation level which affects the absorption of plant nutrients from the soil. This study aims to examine the effect of biochar and inoculation of soil-fertilizing microbes, *Rhizobium sp.* and arbuscular mycorrhizal fungi (AMF), also its interaction on peanut production on acid soils. This experiment used a  $4 \times 3$  factorial experiment with a completely randomized design (CRD) which were repeated 3 times. The first factor was the type of biochar material which consists of no application or control (B0), corn cobs (B1), rice husks (B2), and coconut shells (B3). The second factor was the inoculation of soil-fertilizing microbes consisting of *Rhizobium sp.* (M1), arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) (M2), and the combination of *Rhizobium sp.* + AMF (M3). The results showed that the application of biochar was significantly different to plant height, while the inoculation of soil-fertilizing microbes were significantly different to the number of leaves. Both showed no significant difference in the total weight of pods, seeds, soil pH, and the proportion of CMA colonization. Treatment of biochar from rice husk and double inoculation of *Rhizobium sp.* + CMA significantly obtains the highest yield in effective root nodule production.*

*Keywords: bioameliorant; arbuscular mycorrhizal fungi; Soil pH; Rhizobium sp.*

### ABSTRACT

*Pemanfaatan lahan marginal masam untuk budidaya kacang berdampak terhadap produktivitas hasil yang tidak merata. Tanah masam adalah tanah dengan tingkat kejenuhan basa rendah yang mempengaruhi penyerapan unsur hara tanaman dari dalam tanah. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh biochar dan inokulasi mikroba penyubur tanah, *Rhizobium sp.* dan cendawan mikoriza arbuskular (CMA), serta interaksinya terhadap produksi kacang tanah pada tanah masam. Percobaan ini menggunakan percobaan faktorial  $4 \times 3$  dengan Rancangan Acak Lengkap (RAL) yang diulang sebanyak 3 kali. Faktor pertama adalah jenis bahan biochar yang terdiri dari tanpa aplikasi atau kontrol (B0), tongkol jagung (B1), sekam padi (B2), dan tempurung kelapa (B3). Faktor kedua adalah inokulasi mikroba penyubur tanah yang terdiri dari *Rhizobium sp.* (M1), jamur mikoriza arbuskular (CMA) (M2), dan kombinasi *Rhizobium sp.* + CMA (M3). Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemberian biochar berbeda nyata terhadap tinggi tanaman, sedangkan inokulasi mikroba penyubur tanah berbeda nyata terhadap jumlah daun. Keduanya tidak menunjukkan perbedaan yang nyata pada bobot total polong, biji, pH tanah, dan proporsi kolonisasi CMA. Perlakuan biochar dari sekam padi dan inokulasi ganda *Rhizobium sp.* + CMA secara signifikan memperoleh hasil tertinggi dalam produksi bintil akar yang efektif.*

*Kata Kunci: bioamelioran; cendawan mikoriza arbuskular; pH tanah; Rhizobium sp.*

## PENDAHULUAN

Tanaman kacang tanah (*Arachis hypogaea* L.) merupakan tanaman pangan yang telah banyak dikonsumsi di Indonesia sebagai bahan olahan pangan primer maupun sekunder sehingga dapat mendukung perekonomian nasional. Produktivitas hasil kacang tanah di Indonesia memiliki akumulasi sebesar 1,37 t/ha pada tahun 2018 yang mana terjadi kenaikan produktivitas hasil secara nasional sebesar 3,78% dari tahun sebelumnya. Akan tetapi, sejumlah provinsi menunjukkan adanya penurunan yang cukup drastis pada tahun 2018 dari tahun sebelumnya, yakni Sumatera Selatan (-10,87%), Jawa Barat (-15,07%), Sulawesi Tenggara (-23,73%), dan Jawa Timur (-3,36%) (Kementan, 2018).

Penggunaan lahan marginal masam diduga menjadi penyebab atas penurunan produksi tanaman kacang tanah di beberapa daerah. Potensi lahan masam di Indonesia dapat dikembangkan melalui serangkaian optimalisasi lahan agar manfaat sarana produksi bagi budidaya kacang tanah dapat diperoleh. Luas lahan masam di Indonesia tercatat sebesar 108,8 juta ha dari lahan kering sebesar 143 juta ha (Mulyani dan Sarwani, 2013) atau setara 76% dari total lahan kering. Tanaman kacang tanah dapat terhambat pertumbuhannya akibat pH tanah yang rendah. Akumulasi signifikan Al, Fe dan Mn pada tanah masam dengan pH tanah yang rendah (pH<5) menyebabkan keracunan tanaman, demikian dapat menghambat pertumbuhan tanaman (Shetty*et al.*, 2020).

Pemanfaatan pembenah tanah atau amelioran pada tanah masam dapat ditujukan untuk peningkatan produktivitas tanaman kacang tanah melalui peningkatan pH tanah sehingga penyerapan unsur hara tanaman dapat terdukung. Upaya perbaikan tanah masam secara konvensional dilakukan melalui pemberian kapur pertanian, akan tetapi hal tersebut hanya utama ditujukan terhadap aspek kimia tanah yakni pH tanah. Salah satu bahan alternatif yang dapat digunakan untuk perbaikan tanah sekaligus mendukung pertumbuhan tanaman ialah

biochar. Pemberian biochar pada tanaman jagung memperoleh hasil tinggi tanaman (155,67 cm) dan biji pipilan kering per tanaman (194,5 g) yang lebih tinggi dari perlakuan kapur pertanian pada tinggi tanaman (56 cm) dan bobot pipilan kering per tanaman (42g) (Hasibuan, 2017). Biochar adalah bahan kaya karbon yang dihasilkan dari pembakaran tidak sempurna berbagai limbah organik, termasuk biomassa pertanian. Biochar diyakini tahan terhadap serangan mikroba perombak dan dapat bertahan cukup lama di dalam tanah (Tang *et al.*, 2013).

Penentuan bahan baku biochar turut menjadi salah satu faktor penentu dalam efektivitas penggunaan biochar sebagai bahan pembenah tanah. Kualitas bahan baku biochar dapat ditentukan dengan kandungan nisbah C/N serta kadar lignin yang tinggi sehingga laju mineralisasi bahan rendah (Sismiyanti*et al.*, 2018). Beberapa limbah pertanian yang dapat dijadikan sebagai bahan baku pembuatan biochar, antara lain tempurung kelapa, sekam padi, dan tongkol jagung. Limbah pertanian tersebut dianggap tersedia dan terjangkau, terutama bagi petani. Biochar memiliki kemampuan menahan air dan menciptakan lingkungan yang menguntungkan bagi mikroba tanah melalui bahan yang berpori (Bella dan Padrikal, 2018). Hal ini akan menguntungkan bagi mikroba penyubur tanah terutama mikroba yang berasosiasi simbiotik dengan tanaman kacang tanah baik dari golongan bakteri maupun cendawan.

Mikroba penyubur tanah adalah kumpulan organisme mikroskopis, baik bakteri maupun cendawan, yang menghuni tanah dan berperan dalam mendukung kesuburan tanah, serta beberapa di antaranya dapat membentuk hubungan simbiosis dengan tanaman. Penggunaan mikroba penyubur tanah pada tanah masam diketahui mendukung ketersediaan unsur hara yang hilang atau sulit diserap karena kondisi masam, termasuk unsur hara N dan P yang merupakan unsur hara esensial bagi tanaman. *Rhizobium* sp. merupakan mikroba yang dapat hidup berdampingan dengan kacang-kacangan seperti kacang tanah dengan

membentuk akar batang dan dapat menyuplai unsur hara N dari atmosfer melalui serangkaian fiksasi nitrogen. Hasil fiksasi nitrogen oleh *Rhizobium* sp. dapat bermanfaat bagi pertumbuhan akar, daun, batang, bunga, dan ginofor tanaman kacang tanah (Setyawan *etal.*, 2015). Namun, pertumbuhan *Rhizobium* sp. diketahui sub optimal pada lingkungan tumbuh yang masam dimana kisaran pH yang dibutuhkan agar optimal ialah 5 – 7 (Sari, 2018). Salah satu penghambat pembentukan bintil adalah defisiensi P dalam tanah. Kondisi tanah yang masam mempengaruhi ketersediaan unsur hara P karena tingginya akumulasi aluminium (Al) dan besi (Fe). Hasilnya adalah ikatan antara Al-P dan Fe-P yang tidak diserap oleh tanaman kacang tanah (Nugraha *etal.*, 2019). Demikian diperlukan inokulasi dengan mikroba pelarut P secara bersamaan. Inokulasi ganda antara *Rhizobium* sp. dan Cendawan Mikoriza Arbuskular (CMA) dapat berpengaruh sinergis pada pembentukan bintil dan fiksasi N pada tanah yang kekurangan P (Suryatini, 2015). Pemberian Cendawan Mikoriza Arbuskular (CMA) mampu melarutkan P dalam bentuk yang tersedia sehingga dapat mendukung pertumbuhan unsur hara P sekaligus mendukung perkembangbiakan bintil *Rhizobium* sp. Cendawan Mikoriza Arbuskular (CMA) pada tanah masam dapat mengubah P organik menjadi ortofosfat primer ( $PO_4^{3-}$ ) yang merupakan bentuk tersedia bagi tanaman (Rajmi *etal.*, 2018). Berdasarkan hal tersebut, perlu diketahui interaksi antara biochar dan mikroba penyubur tanah guna mengoptimalkan produktivitas tanaman kacang tanah. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengkaji pengaruh perlakuan biochar dan inokulum mikroba penyubur tanah, serta interaksi antar kedua perlakuan terhadap hasil produksi tanaman kacang tanah pada tanah masam.

## BAHAN DAN METODE

Penelitian berlangsung pada bulan Juli 2021 – Desember 2021 di *Greenhouse*, Fakultas Peternakan dan Pertanian, Universitas Diponegoro yang secara

astronomis terletak pada  $7^{\circ}03'16,1''$  LS dan  $110^{\circ}26'27,9''$  BT. Tanaman Kacang tanah dibudidayakan pada ketinggian 125 m di atas permukaan laut dengan suhu rata-rata  $24,6^{\circ}C$  hingga  $40,4^{\circ}C$ . Analisis tanah dan hasil tanaman dilakukan di Laboratorium Fisiologi dan Pemuliaan Tanaman dan Laboratorium Ekologi dan Produksi Tanaman, Fakultas Peternakan dan Pertanian, Universitas Diponegoro, Semarang. Bahan yang digunakan adalah benih kacang tanah varietas Hypoma 1, biochar (tongkol jagung, sekam padi, dan tempurung kelapa), inokulum *Rhizobium* sp., inokulum cendawan mikoriza arbuskular (CMA), formaldehid 2%, dan pot (polybag)  $40 \times 40$ . Alat yang digunakan adalah sekop, timbangan analitik, autoklaf, shaker, tungku pembakaran biochar, pH meter, *Chlorophyll Content Index* (CCI) meter, ring sampel, saringan bertingkat, mikroskop binokuler, mikroskop stereo, dan cawan petri. Penelitian ini menggunakan percobaan faktorial  $4 \times 3$  dengan Rancangan Acak Lengkap (RAL) yang diulang sebanyak 3 kali. Faktor pertama merupakan pemberian jenis bahan baku biochar yang terdiri atas tanpa aplikasi atau kontrol (B0), tongkol jagung (B1), sekam padi (B2), tempurung kelapa (B3). Faktor kedua merupakan inokulasi mikroba penyubur tanah yang terdiri atas *Rhizobium* sp. (M1), cendawan mikoriza arbuskular (M2), dan kombinasi *Rhizobium* sp. dan cendawan mikoriza arbuskular (M3). Demikian kedua faktor tersebut diperoleh 36 unit percobaan yang memiliki 12 kombinasi perlakuan diulang sebanyak 3 kali.

Penelitian dilaksanakan melalui beberapa tahap antara lain, persiapan, pelaksanaan perlakuan, pemeliharaan, pengamatan, dan analisis data. Tahap persiapan bermula pada pembuatan biochar pada masing-masing bahan antara lain tempurung kelapa, dan tongkol jagung dengan metode tungku yang minim oksigen (pirolisis) pada suhu  $250 - 350^{\circ}C$  selama  $24 - 72$  jam, sedangkan sekam padi dilakukan dengan cara ditumpuk dan dibakar mulai pada bagian dalam tumpukan hingga api membakar pada bagian permukaan tumpukan terluar. Media tanam diambil dari tanah sekitar Kecamatan Gonoharjo, Kabupaten Kendal kemudian

dianalisis guna mengetahui kandungan hara tanah dan kejenuhan basa serta sifat fisik tanah sebagaimana ditampilkan pada Tabel 1. Media tanam dilakukan sterilisasi dengan formaldehid 2% dengan dosis 200 ml/pot (Febriyanti dan Rahayu, 2019) dan dicampur pupuk kandang sapi dengan dosis 7,5 ton/ha sebagai pupuk dasar. Biochar diberikan sebesar 20 ton/ha sesuai jenis perlakuan pada 14 hari sebelum tanam dengan cara dicampur hingga homogen dengan media tanam. Perlakuan inokulum mikroba penyubur tanah yang meliputi *Rhizobium* sp. dan CMA dilakukan pada saat tanam. Bakteri *Rhizobium* sp. sebanyak  $1,7 \times 10^6$  CFU's/ml dilarutkan pada akuades dengan dosis 6 ml/liter air tiap benih. lalu benih direndam pada hasil larutan suspensi *Rhizobium* sp. selama 5 menit sebelum tanam. Cendawan mikoriza arbuskular (CMA) diperoleh dari *SEAMEO*

*Biotrop Laboratory* dengan kerapatan spora sebesar 208 spora/100gram zeolit. Inokulasi CMA dilakukan dengan cara membenamkan media zeolit CMA sebanyak 10 g/pot pada kedalaman 5 cm dari benih. Pemeliharaan tanaman meliputi penyiraman tanaman setiap hari, pemupukan anorganik sebanyak 2 kali yakni pada saat tanam dan 14 hst dengan dosis 50 kg Urea/ha, 150 kg SP-36/ha, dan 75 kg KCl/ha, serta pengendalian hama dan penyakit. Parameter pengamatan terdiri atas tinggi tanaman, jumlah daun, berat bintil akar efektif, bobot total polong, bobot biji, pH tanah, dan persentase kolonisasi CMA. Analisis data dilakukan dengan menggunakan sidik ragam (Uji F). Perlakuan yang menunjukkan berbeda nyata akan dilanjutkan dengan *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) pada taraf 5%.

Tabel 1. Hasil Analisis Fisik dan Kimia Tanah Awal Penelitian

Parameter	Satuan	Nilai	Kategori*)
<b>Sifat Fisik :</b>			
Berat Volume	g/cm <sup>3</sup>	0,3	
Berat Jenis	g/cm <sup>3</sup>	1,7	
Porositas Tanah	%	89,3	
<b>Sifat Kimia :</b>			
N-Total	%	0,61	Tinggi
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> HCl 25%	mg/100g	12	Sangat Rendah
K <sub>2</sub> O HCL 25%	mg/100g	31	Sedang
C-Organik	%	10,05	Sangat Tinggi
C/N	--	16,62	Tinggi
pH (H <sub>2</sub> O)	--	5,2	Masam

\*) Balai Penelitian Tanah, 2009

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Karakteristik Biochar

Analisis awal dilakukan terhadap masing-masing jenis bahan baku yang

berbeda guna mengetahui kandungan kimiawi, antara lain tongkol jagung, sekam padi, dan tempurung kelapa sebagaimana disajikan secara rinci pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil analisis kimia kadar biochar pada berbagai jenis bahan baku

Parameter	Satuan	Bahan Baku		
		Tongkol Jagung	Sekam Padi	Tempurung Kelapa
pH (H <sub>2</sub> O)	---	10,2	8,7	9,8
N-Total	%	0,21	0,28	0,25
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%	0,16	0,38	0,36
K <sub>2</sub> O	%	9,78	1,29	1,40

C-Organik	%	79,2	58,0	94,4
C/N	---	219,63	120,99	219,92
Kadar Air	%	15,16	17,43	6,81

Hasil analisis kimia untuk masing-masing jenis biochar diperoleh nilai pH biochar dari tongkol jagung, sekam padi dan tempurung kelapa adalah 10,2. 8.7; 9.8, yang mana seluruhnya memenuhi standar International Biochar Initiative (IBI). Hal ini sesuai dengan Goenadi dan Santi (2017) yang menyatakan bahwa standardisasi pH biochar yang ditetapkan oleh International Biochar Initiative (IBI) berkisar antara 6 hingga 10. pH biochar pada seluruh bahan baku menunjukkan kemampuan untuk menaikkan pH tanah, terutama pada tanah masam. Menurut Shetty dkk. (2020) biochar yang sangat basa menukarkan  $Al^{3+}$  dengan  $H^+$  untuk menghasilkan pH tinggi dan kation basa tinggi sehingga dapat mengurangi keasaman tanah.

Kandungan C-Organik masing-masing bahan biochar dari tongkol jagung (79,2%), sekam padi (58,0%) dan tempurung kelapa (94,4%) sesuai dengan International Biochar Initiative (IBI) dan PERMENTAN No. 70 Tahun 2011 tentang Pupuk Organik, Pupuk Hayati dan Pembenah Tanah Hal ini sejalan dengan penelitian Setiani *et al.* (2021) yang menyatakan bahwa kadar C-Organik dalam biochar minimal 20% atau lebih jika mengacu pada standar International Biochar Initiative (IBI) dan minimal 15% atau lebih tinggi jika mengacu pada PERMENTAN No. 70 tahun 2011 tentang Pupuk Organik, Pupuk Hayati dan Pembenah Tanah. Biochar tempurung kelapa (94,4%) menghasilkan yang tertinggi, diikuti oleh tongkol jagung (79,2%) dan sekam padi (58,0%). Hal ini sesuai dengan penelitian Yosephine *et al.* (2020) yang menemukan bahwa biochar organik berbentuk tempurung kelapa memiliki hasil tertinggi, diikuti oleh tongkol jagung dan sekam padi. Perbedaan bahan organik yang terkandung pada masing-masing jenis biochar disebabkan

oleh pengaruh sumber bahan baku biochar dimana bahan kering tanaman terdiri atas karbon, oksigen, hidrogen dan unsur mineral lainnya.

Hasil yang diperoleh dari kadar biochar C/N pada tongkol jagung, sekam padi, dan tempurung kelapa adalah 219,63; 120,99; 219,92 yang memiliki nilai nisbah yang cukup tinggi sebagai bahan organik. Hal ini sesuai dengan pendapat Sismiyan *et al.* (2018) bahwa nisbah C/N bahan organik yang berasal dari limbah industri pertanian atau perkebunan dan sisa tanaman yaitu sekam padi, tongkol jagung, ampas tebu, dan tandan kosong kelapa sawit jauh lebih tinggi dari bahan organik segar. Oleh karena itu, peran bahan organik dapat dimaksimalkan dengan menggunakan bahan organik berkadar rendah yang sulit terurai dalam bentuk biochar. Kadar C/N biochar yang tinggi dapat mempengaruhi hasil panen. Menurut Xu *et al.* (2021), biochar dengan nisbah C/N tinggi menguntungkan untuk imobilisasi nitrogen mikroba yang mendorong pembentukan karbon organik di tanah dan hasil tanaman melalui peningkatan karbon organik yang terbentuk di tanah secara linier.

#### Tinggi Tanaman

Hasil analisis *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) ( $P < 0,05$ ) menunjukkan bahwa pemberian jenis bahan baku biochar asal tongkol jagung (B1), sekam padi (B2), dan tempurung kelapa (B3) masing-masing berbeda secara nyata dengan perlakuan kontrol (B0) terhadap parameter tinggi tanaman kacang tanah pada 35 HST sebagaimana ditunjukkan secara rinci pada Tabel 3.

Tabel 3. Tinggi tanaman kacang tanah terhadap tiap taraf perlakuan biochar dan inokulum mikroba penyubur tanah pada 35 HST

Jenis Biochar	Inokulum Mikroba Penyubur Tanah			Rerata
	<i>Rhizobium</i> sp	CMA	<i>Rhizobium</i> sp +	

	(M1)	(M2)	CMA (M3)	
			-----cm-----	
Kontrol(B0)	42,17	38,83	39,67	40,22 <sup>b</sup>
TongkolJagung (B1)	45,33	45,67	44,50	45,17 <sup>a</sup>
SekamPadi (B2)	44,67	45,67	45,00	45,11 <sup>a</sup>
TempurungKelapa (B3)	44,50	46,00	42,67	44,39 <sup>a</sup>
Rerata	44,17	44,50	42,96	

\*Superskrip berbeda pada baris atau kolom yang sama menunjukkan perbedaan yang nyata pada *Duncan Multiple Range Test*( $p < 0,05$ )

Kenaikan tinggi tanaman dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain ketersediaan hara yang tercukupi bagi tanaman dimana biochar berperan dalam peningkatan pH pada tanah masam. Hal ini sejalan dengan pendapat Nguyen *et al.* (2017) yang menyatakan bahwa biochar berperan dalam mendukung proses mineralisasi N dan nitrifikasi melalui peningkatan pH tanah serta kelembapan sehingga ketersediaan unsur hara N dapat tercukupi untuk asimilasi tanaman. Aplikasi biochar pada tanah masam tidak hanya mendukung ketersediaan unsur hara namun andil dalam mencegah pencucian hara N. Hal ini sesuai dengan pendapat Putri *et al.* (2017) menunjukkan bahwa biochar memiliki kapasitas mengikat air yang tinggi, yang berguna dalam menjebak nutrisi nitrogen sehingga tidak mudah hanyut.

Perlakuan inokulasi mikroorganisme penyubur tanah, yaitu *Rhizobium* sp.(M1), cendawan mikoriza arbuskular (CMA) (M2) dan kombinasi *Rhizobium* sp. +CMA (M3) pada penelitian ini tidak menunjukkan perbedaan yang nyata pada tinggi tanaman kacang tanah pada 35 HST. Namun, perlakuan CMA cenderung lebih tinggi dibandingkan perlakuan lainnya yang mana disebabkan CMA mampu tumbuh pada kondisi yang masam dibandingkan

*Rhizobium* sp.. Hal ini sesuai dengan Neina (2019) yang menyatakan bahwa jamur lebih mudah beradaptasi dengan kondisi tanah masam dibandingkan bakteri. Bakteri dicirikan oleh respirasi jamur yang tinggi dibandingkan dengan respirasi bakteri pada pH tanah yang rendah. Beberapa faktor menyebabkan kinerja genus *Rhizobium* tidak efektif. Ini adalah *Rhizobium* sp oleh Kamanga (2010). Pada lingkungan dengan P rendah tidak optimal dan pembentukan bintil tidak sempurna, sehingga vitalitas tanaman rendah.

#### Jumlah Daun

Hasil analisis *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) ( $P < 0,05$ ) terhadap parameter jumlah daun pada 35 HST menunjukkan bahwa rerata inokulasi mikroba penyubur tanah berbeda nyata dengan perolehan tertinggi pada inokulasi tunggal *Rhizobium* sp. (M1), lalu diikuti inokulasi ganda *Rhizobium* + CMA (M3) dan inokulasi tunggal CMA (M2), sedangkan pengaruh rerata aplikasi biochar pada masing-masing jenis bahan baku tidak memberikan perbedaan secara nyata, serta interaksi perlakuan sebagaimana disajikan secara rinci pada Tabel 4.

Tabel 4. Jumlah daun tanaman kacang tanah terhadap tiap taraf perlakuan biochar dan inokulum mikroba penyubur tanah pada 35 HST

Jenis Biochar	Inokulum Mikroba Penyubur Tanah			Rerata
	<i>Rhizobium</i> sp (M1)	CMA (M2)	<i>Rhizobium</i> sp + CMA (M3)	
			-----helai-----	
Kontrol (B0)	29,33	29,00	30,67	29,67
Tongkol Jagung (B1)	45,00	29,67	32,00	35,56
Sekam Padi (B2)	32,67	32,67	34,00	33,11

Tempurung Kelapa (B3)	41,00	31,00	32,00	34,67
Rerata	37 <sup>a</sup>	30,58 <sup>b</sup>	32,17 <sup>ab</sup>	

\*Superskrip berbeda pada baris atau kolom yang sama menunjukkan perbedaan yang nyata ( $p < 0,05$ )

Pengamatan jumlah daun tertinggi secara nyata diperoleh dari inokulasi tunggal *Rhizobium* sp. (M1) dibandingkan dengan perlakuan inokulasi ganda *Rhizobium* sp. + CMA (M3) dan inokulasi tunggal CMA (M2). Pembentukan jumlah daun diawali dengan dukungan unsur hara makroN yang dihasilkan dari fiksasi nitrogen oleh bakteri *Rhizobium* sp. di udara. Hal ini sejalan dengan pendapat Lindström dan Mousavi (2019) yang menyatakan produk akhir dari fiksasi nitrogen oleh *Rhizobium* sp. di atmosfer adalah amonia yang bermanfaat untuk kacang-kacangan seperti kacang tanah. Sedangkan, peran cendawan mikoriza arbuskular adalah untuk mendukung penyerapan unsur hara P di dalam tanah. Hal ini sesuai dengan Widyastuti *etal.* (2020) yang menyatakan bahwa cendawan mikoriza arbuskular (CMA) menghasilkan jaringan ekspansif saat menginfeksi akar tanaman sehingga meningkatkan kemampuan akar untuk mencapai unsur hara terutama fosfat (P).

Pemberian jenis biochar pada penelitian ini tidak berpengaruh nyata terhadap jumlah daun tanaman kacang tanah pada 35 HST, meskipun perlakuan kontrol (B0) cenderung lebih rendah dari perlakuan

biochar tongkol jagung (B1), sekam padi (B2), dan tempurung kelapa (B3). Suplai biochar diduga perlu diperkaya dengan pupuk agar kinerja biochar tidak hanya meningkatkan pH tanah sehingga unsur hara tersedia, tetapi juga menyediakan unsur hara yang mendukung pertumbuhan tanaman melalui pori-pori biochar. Hal ini sebagaimana dinyatakan Joseph *etal.* (2021) yang menyatakan bahwa formulasi biochar berdosisi rendah ( $< 1$  ton/ha) yang dikombinasikan pupuk (*biochar compound fertilizer*) dapat meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk dan mengurangi kehilangan hara, sedangkan penggunaan biochar dosis tinggi (10 – 50 ton/ha) tanpa kombinasi pupuk perbaikan tanah untuk meningkatkan kualitas sifat fisik dan kimia tanah.

#### Berat Bintil Akar Efektif

Hasil analisis *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) ( $P < 0,05$ ) menunjukkan bahwa terdapat interaksi antar perlakuan pemberian berbagai jenis biochar dan inokulasi mikroba penyubur tanah nyata terhadap berat bintil akar efektif sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Berat bintil akar efektif terhadap tiap taraf perlakuan biochar dan inokulum mikroba penyubur tanah

Jenis Biochar	Inokulum Mikroba Penyubur Tanah			Rerata
	<i>Rhizobium</i> sp (M1)	CMA (M2)	<i>Rhizobium</i> sp + CMA (M3)	
	-----g/pot-----			
Kontrol (B0)	0,0127 <sup>b</sup>	0,0167 <sup>b</sup>	0,0137 <sup>b</sup>	0,0143
Tongkol Jagung (B1)	0,0120 <sup>b</sup>	0,0280 <sup>ab</sup>	0,0100 <sup>b</sup>	0,0167
Sekam Padi (B2)	0,0120 <sup>b</sup>	0,0057 <sup>b</sup>	0,0470 <sup>a</sup>	0,0216
Tempurung Kelapa (B3)	0,0127 <sup>b</sup>	0,0110 <sup>b</sup>	0,0203 <sup>b</sup>	0,0151
Rerata	0,0123	0,0157	0,0228	

\*Superskrip berbeda pada baris atau kolom yang sama menunjukkan perbedaan yang nyata ( $p < 0,05$ )

Aplikasi biochar sekam padi dan inokulasi ganda *Rhizobium* sp. dan cendawan mikoriza arbuskular (CMA) (B2M3)

memperoleh bobot bintil akar efektif tertinggi dari seluruh kombinasi perlakuan. Hal ini menunjukkan bahwa pertumbuhan dan

perkembangan *Rhizobium* sp. pada tanah masam telah mendapat dukungan CMA secara sinergis melalui pemasokan unsur hara P. Hal ini sesuai dengan penelitian Oktaviani *etal.* (2014) yang menyatakan bahwa interaksi antara cendawan mikoriza arbuskular (CMA) dan sekelompok bakteri seperti *Rhizobium* sp meningkatkan berat dan kuantitas pembentukan bintil akar yang efektif melalui pemecahan hara P oleh CMA sehingga dapat memenuhi kebutuhan nutrisi yang diperlukan untuk pembentukan bintil akar yang efektif. Inokulasi tunggal *Rhizobium* sp. memperoleh berat bintil yang rendah karena kondisi lingkungan defisiensi P. Hal ini sejalan dengan pendapat Kamanga *etal.* (2010) yang menyatakan bahwa bakteri *Rhizobium* sp. yang hidup dalam lingkungan defisiensi P menyebabkan bintil terbentuk tidak sempurna diikuti dengan vigoritas tanaman rendah.

Pengamatan terhadap parameter bobot bintil akar efektif juga secara tidak langsung menunjukkan bahwa biochar sekam padi bermanfaat bagi kelangsungan hidup *Rhizobium* sp. yang mana berdampak positif terhadap pembentukan bintil akar efektif. Biochar sekam padi diduga memiliki kadar air yang lebih tinggi dibandingkan dengan jenis

biochar lainnya (Tabel 2) dan dapat bermanfaat bagi kehidupan mikroba. Hal ini sejalan dengan pendapat Bella dan Padrikal (2018) bahwa kapasitas retensi air yang tinggi dari pori-pori biochar menghasilkan kadar air yang menguntungkan bagi mikroba penyubur tanah. Rendahnya bobot bintil dengan kombinasi di sebagian besar perlakuan disebabkan oleh kurangnya unsur hara yang dibutuhkan untuk perkembangan bintil. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Luisiana *etal.* (2021) yang menyatakan bahwa kekurangan unsur hara pada tahap infeksi genus *Rhizobium* dapat membatasi pembentukan bintil, serta bakteri pada tahap ini sepenuhnya bergantung pada ketersediaan unsur hara di luar sel tanaman.

#### *Bobot Total Polong*

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa pemberian berbagai jenis biochar dan inokulasi mikroba penyubur tanah tidak memberikan pengaruh secara nyata terhadap bobot total polong tanaman kacang tanah, serta tidak terdapat interaksi antara perlakuan sebagaimana disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Bobot total polong tanaman kacang tanah terhadap tiap taraf perlakuan biochar dan inokulum mikroba penyubur tanah

Jenis Biochar	Inokulum Mikroba Penyubur Tanah			Rerata
	<i>Rhizobium</i> sp (M1)	CMA (M2)	<i>Rhizobium</i> sp + CMA (M3)	
	-----g/pot-----			
Kontrol (B0)	21,33	23,83	22,67	22,61
Tongkol Jagung (B1)	23,67	15,50	20,50	19,89
Sekam Padi (B2)	22,50	19,17	20,50	20,72
Tempurung Kelapa (B3)	20,50	17,67	50,50	19,56
Rerata	22,00	19,04	21,04	

\*Superskrip berbeda pada baris atau kolom yang sama menunjukkan perbedaan yang nyata ( $p < 0,05$ )

Hasil penelitian menunjukkan bahwa aplikasi biochar dari tongkol jagung (B1), sekam padi (B2), dan tempurung kelapa (B3) tidak ada perbedaan secara signifikan dengan kontrol (tanpa biochar) (B0). Peranan biochar dan mikroba penyubur tanah dalam menyediakan unsur hara yang dibutuhkan untuk

pembentukan polong kacang tanah diduga belum didukung secara optimal. Menurut Simatupang (2018), perolehan polong kacang tanah dipengaruhi oleh pertumbuhan tanaman yang optimal melalui peran *Rhizobium* dari segi fiksasi N dan mikoriza dari segi penyediaan unsur hara P. Pemberian biochar



dapat mendukung proses penyediaan unsur hara melalui aktivitas mikroorganismen penyubur tanah yaitu *Rhizobium sp.* dan cendawan mikoriza arbuskular (CMA), sehingga mendukung pembentukan polong. Hal ini sesuai dengan Joseph *et al.* (2021) yang menyatakan bahwa biochar dapat mengkatalisis proses mikroba dan abiotik di rizosfer, meningkatkan mineralisasi nutrisi oleh tanaman, dan meningkatkan penyerapan nutrisi.

Periode berbunga mempengaruhi berat total polong, dan diperkirakan bahwa polong terbentuk ketika bunga dibuahi. Menurut Trustinah (2015), polong kacang tanah yang berhasil terbentuk berasal dari perkembangan bunga yang muncul pada periode awal dengan letak yang tidak terlalu tinggi, namun demikian jumlah bunga yang dihasilkan memiliki korelasi negatif dengan persentase keberhasilan bunga menjadi ginofor dan

polong. Penyebab rendahnya bobot total polong kacang tanah juga karena posisi ginofor. Ginofor adalah bakal buah yang masuk ke dalam tanah, apabila letak tumbuh ginofor terlalu tinggi, akan sulit bagi ginofor untuk mencapai permukaan tanah. Hal ini sejalan dengan pendapat Hidayat dan Suwitono (2019) yang menemukan bahwa pembentukan polong dapat dipicu jika ginofor tanaman kacang tidak terlalu jauh dari permukaan tanah.

### Bobot Biji

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa pemberian berbagai jenis biochar dan inokulasi mikroba penyubur tanah tidak memberikan pengaruh secara nyata terhadap bobot biji kacang tanah serta tidak terdapat interaksi perlakuan sebagaimana disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Bobot biji tanaman kacang tanah terhadap tiap taraf perlakuan biochar dan inokulum mikroba penyubur tanah

Jenis Biochar	Inokulum Mikroba Penyubur Tanah			Rerata
	<i>Rhizobium</i> sp (M1)	CMA (M2)	<i>Rhizobium</i> sp + CMA (M3)	
	-----g/pot-----			
Kontrol (B0)	16,00	18,17	17,67	17,78
Tongkol Jagung (B1)	18,33	11,83	16,17	15,44
Sekam Padi (B2)	17,00	14,33	14,33	15,22
Tempurung Kelapa (B3)	15,17	13,50	15,17	14,61
Rerata	16,63	14,46	15,83	

\*Superskrip berbeda pada baris atau kolom yang sama menunjukkan perbedaan yang nyata ( $p < 0,05$ )

Perbedaan bobot biji kacang tanah yang tidak nyata mengikuti hasil bobot polong total dan hasilnya turut menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata. Biochar yang digunakan tidak mampu membawa unsur hara, terutama unsur hara P, ke dalam tanah, sehingga pembentukan benih tidak terdukung. Hal ini sejalan dengan Marom *et al.* (2017) yang menyatakan bahwa hasil produksi biji kacang tanah dipengaruhi oleh unsur hara P, dan apabila kebutuhan unsur hara P terpenuhi maka hasil biji dapat ditingkatkan. Kandungan unsur hara jenis biochar yang diberikan pada batang jagung, sekam padi dan

sabut kelapa relatif rendah terutama P (Tabel 2). Oleh karena itu, pengayaan pupuk untuk menyuburkan tanah diperlukan guna memasok nutrisi dan mendukung perkembangan mikroba penyubur tanah. Hal ini sesuai dengan Dariah *et al.* (2015) yang telah menemukan bahwa bahan organik yang diubah menjadi biochar cenderung berfungsi untuk meningkatkan kualitas sifat fisik tanah yakni kemampuan menahan air, sehingga menyebabkan bahan organik yang terkandung kurang dapat diakses oleh organisme tanah. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengayaan biochar dengan bahan

organik sebagai sumber energi bagi organisme tanah.

#### pH Tanah

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa aplikasi berbagai jenis biochar dan inokulasi mikroba penyubur tanah berpengaruh secara tidak nyata terhadap pH tanah sebagaimana disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8. pH tanah terhadap tiap taraf perlakuan biochar dan inokulum mikroba penyubur tanah

Jenis Biochar	Inokulum Mikroba Penyubur Tanah			Rerata
	<i>Rhizobium</i> sp (M1)	CMA (M2)	<i>Rhizobium</i> sp + CMA (M3)	
	-----pH -----			
Kontrol (B0)	5,27	4,76	5,38	5,14
Tongkol Jagung (B1)	5,46	5,18	5,38	5,34
Sekam Padi (B2)	5,40	5,31	5,50	5,40
Tempurung Kelapa (B3)	5,25	5,57	5,38	5,40
Rerata	5,35	5,21	5,41	

\*Superskrip berbeda pada baris atau kolom yang sama menunjukkan perbedaan yang nyata ( $p < 0,05$ )

Penyebab perubahan pH tanah akibat aplikasi biochar disebabkan oleh alkalinitas biochar yang dipengaruhi oleh suhu selama produksi biochar. Hal ini sebagaimana dengan Ding *et al.* (2016) yang menyatakan bahwa kinerja fungsi biochar berkaitan erat dengan suhu pirolisis, jenis tanah dan tanaman, serta laju aplikasi yang digunakan. Biochar yang digunakan diproduksi pada suhu di bawah  $400^{\circ}\text{C}$ . Hal ini memungkinkan terjadinya reaksi oksidasi lambat yang terjadi dengan zat pereduksi seperti logam berat Al dan Fe, yang mempengaruhi pH tanah. Menurut Joseph *et al.* (2021), biochar memiliki kandungan radikal bebas yang tinggi terutama dari hasil produksi dengan suhu di atas  $400^{\circ}\text{C}$  yang dapat mempercepat reaksi oksidasi, serta intensif pada tanah dengan tingkat air yang berfluktuatif atau dengan kandungan besi (oxyhydr)oksida yang tinggi.

Pengaruh inokulasi mikroba kesuburan tanah terhadap pH tanah menunjukkan sedikit peningkatan nilai, terutama untuk cendawan mikoriza arbuskular. Cendawan mikoriza arbuskular (CMA) demikian belum mampu mendukung peningkatan pH tanah karena fiksasi Al. Hal tersebut sebagaimana pendapat Rajmi *et al.*

(2018) bahwa inokulasi cendawan mikoriza arbuskular yang menunjukkan berbeda tidak nyata terhadap pH tanah, namun cenderung mengalami peningkatan nilai, disebabkan oleh kemampuan CMA dalam melepaskan fiksasi Al-P yang selanjutnya akan menaikkan pH tanah. Dosis cendawan mikoriza arbuskular yang tidak sesuai dengan kondisi tanah juga menjadi penyebab tidak optimalnya kinerja jamur dalam menaikkan pH tanah masam. Hal ini sesuai dengan Suherman *et al.* (2015) bahwa pemberian cendawan mikoriza arbuskular (CMA) yang terlalu sedikit menyebabkan persaingan antar CMA, sehingga hasilnya tidak optimal dan sebaliknya.

#### Persentase Kolonisasi Cendawan Mikoriza Arbuskular

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa perlakuan berbagai jenis biochar dan mikroba penyubur tanah tidak berpengaruh secara nyata, serta tidak terdapat interaksi antar perlakuan terhadap persentase kolonisasi cendawan mikoriza arbuskular (CMA) sebagaimana disajikan pada Tabel 9.

Tabel 5. Persentase kolonisasi cendawan mikoriza arbuskular terhadap tiap taraf perlakuan biochar dan inokulum mikroba penyubur tanah

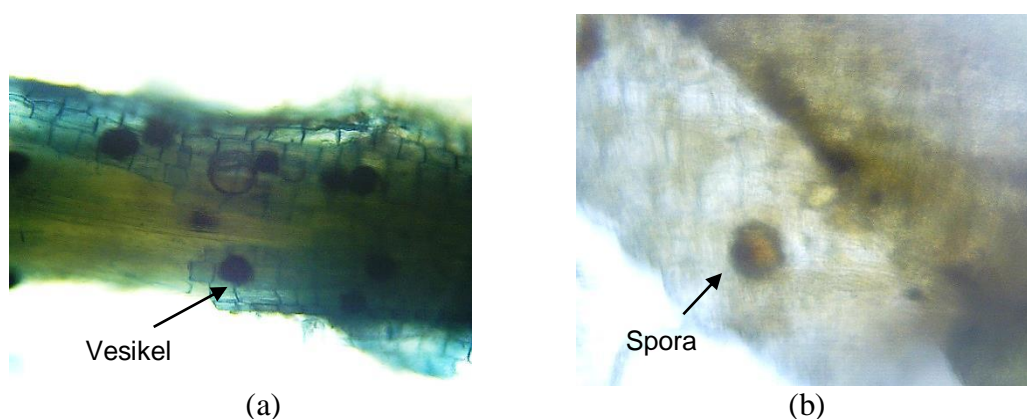
Jenis Biochar	Inokulum Mikroba Penyubur Tanah	Rerata
---------------	---------------------------------	--------

	<i>Rhizobium</i> sp (M1)	CMA (M2)	<i>Rhizobium</i> sp + CMA (M3)	
				-----% -----
Kontrol (B0)	20,0	33,3	33,3	28,9
Tongkol Jagung (B1)	26,7	46,7	53,3	42,2
Sekam Padi (B2)	20,0	20,0	48,3	29,4
Tempurung Kelapa (B3)	13,3	6,7	20,0	13,3
Rerata	20,0	26,7	38,8	

\*Superskrip berbeda pada baris atau kolom yang sama menunjukkan perbedaan yang nyata ( $p < 0,05$ )

Persentase rata-rata kolonisasi cendawan mikoriza arbuskular dengan pemberian biochar dan inokulasi mikroba penyubur tanah tidak menunjukkan perbedaan yang nyata. Kolonisasi cendawan mikoriza arbuskular (CMA) diidentifikasi penampakan hifa, vesikel, spora, dan arbuskul dari CMA yang ada di akar tanaman inang. Hubungan antara tanaman kacang tanah sebagai inang dan CMA disebabkan oleh pembentukan proliferasi CMA yang diperlukan. Pembentukan propagul CMA (hifa, vesikel, spora, dan arbuskul) membutuhkan asosiasi antara tanaman kacang tanah inang dan CMA. Menurut Hendrita *etal.* (2013), pembentukan arbuskular CMA meningkat ketika hubungan tripartit antara CMA, *Rhizobium*, dan tanaman inang muncul melalui suplai energi dalam bentuk karbohidrat dari tanaman inang. Hasil persentase koloni yang diperoleh pada

penelitian ini berkisar antara 6,7 hingga 48,3%, mulai dari rendah hingga sedang. Menurut Putri *etal.* (2019), tingkat infeksi akar CMA dalam lima kelas antara lain sangat rendah (0-5%), rendah (6-25%), sedang (26-50%), tinggi (51-75%), dan sangat tinggi (76-100%). Laju kolonisasi mikoriza arbuskular (CMA) pada akar kacang tanah dipengaruhi oleh faktor sterilitas tanaman. Penelitian ini menggunakan sterilisasi kimia selektif (formaldehid 2%). Menurut Permanasari *etal.* (2016), rendahnya tingkat infeksi disebabkan bahan tanam yang tidak steril sehingga menimbulkan persaingan antara mikroorganisme eksogen dan endogen di dalam tanah. Hal ini didukung pula pernyataan Syamsiyah *etal.* (2019) bahwa inokulasi cendawan mikoriza arbuskular dipengaruhi oleh kompetisi dengan mikoriza indigenos atau mikroba lain yang terdapat dalam tanah.



Ilustrasi 1. Penampakan propagul cendawan mikoriza arbuskular (CMA) pada akar tanaman kacang tanah : (a) Vesikel CMA (perbesaran 40x) (b) Spora CMA (perbesaran 10x)

## KESIMPULAN

Interaksi biochar asal sekam padi dan inokulasi ganda *Rhizobium* sp. + CMA secara nyata memperoleh hasil tertinggi secara nyata dalam produksi bintil akar efektif. Pemberian biochar tongkol jagung, sekam padi, dan tempurung kelapa dapat meningkatkan secara nyata perolehan hasil tinggi tanaman kacang tanah dibandingkan tanpa aplikasi, akan tetapi berbeda tidak nyata antar perlakuan jenis biochar. Inokulasi *Rhizobium* sp. secara tunggal memperoleh jumlah daun tanaman terbesar, diikuti inokulasi ganda *Rhizobium* sp.+ CMA dan inokulasi tunggal CMA. Aplikasi biochar dari tongkol jagung, sekam padi, dan tempurung kelapa dan inokulum mikroba penyubur tanah belum mampu meningkatkan secara nyata pada hasil produksi polong dan biji tanaman kacang tanah, serta pH dan persentase kolonisasi CMA di tanah masam.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Balai Penelitian Lingkungan Pertanian, Kabupaten Pati yang telah mengakomodasi alat dan bahan pembuatan biochar guna keperluan bahan penelitian, serta Fakultas Peternakan dan Pertanian, Universitas Diponegoro yang telah menyediakan fasilitas *greenhouse* sebagai lokasi penelitian.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bella, S. E., & Padrikal, R. (2018). Pemanfaatan Biochar Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Substitusi Pupuk NPK Dalam Peningkatan Kualitas Lahan Pertanian. *Journal of Applied Agricultural Science and Technology*, 2(1), 27-34.
- Dariah, A., Sutono, S., Nurida, N. L., Hartatik, W., & Pratiwi, E. (2015). Pembena tanah untuk meningkatkan produktivitas lahan pertanian. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 9(2), 67-84..
- Ding, Y., Liu, Y., Liu, S., Li, Z., Tan, X., Huang, X., ... & Zheng, B. (2016). Biochar to improve soil fertility. A review. *Agronomy for sustainable development*, 36(2), 1-18.
- Febriati, N. D., & Rahayu, Y. S. (2019). Penambahan Biochar dan Bakteri Penambat Nitrogen (*Rhizobium* & *Azotobacter* sp.) terhadap Pertumbuhan Tanaman Kedelai (*Glycine max*) pada Tanah Kapur. *LenteraBio*, 8 (1), 62-66.
- Goenadi, D. H., & Santi, L. P. (2017). Kontroversi aplikasi dan standar mutu biochar. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 11(1), 23-32.
- Hasibuan, I. (2017). Konservasi lahan marjinal dengan aplikasi biochar plus. *J. Agroqua*, 15(2), 43-50.
- Hendrita, T., Faqih, A & S. Wahyuni. (2017). Pengaruh jenis inokulan dan pupuk fosfor terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman kacang tanah (*Arachis hypogaea* L.) kultivar Kelinci. *Agrijati Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Pertanian*, 24(1), 1-15.
- Hidayat, Y., & Suwitono, B. (2019). Kelayakan usahatani varietas unggul kacang tanah di kabupaten halmahera utara. *Jurnal Pengkajian dan Pengembangan Teknologi Pertanian*, 21(2) : 127-136.
- Kamanga, B. C. G., Whitbread, A., Wall, P., Waddington, S. R., Almekinders, C., & Giller, K. E. (2010). Farm reevaluation of phosphorus fertilizer application to annual legumes in Chisepo, Central Malawi. *African journal of agricultural research*, 5(8), 668-680.
- Lindström, K., & Mousavi, S. A. (2020). Effectiveness of nitrogen fixation in rhizobia. *Microbial biotechnology*, 13(5), 1314-1335.
- Lusiana, N. P. N., Suwastika, A. A. N. G., Atmaja, I. W. D., & Kesumadewi, D. A. A. I. (2021). Pemanfaatan Biochar sebagai Pembawa *Rhizobium* terhadap Pembentukan Bintil Akar dan Hasil Tanaman Kedelai (*Glycine max* L. Merril). *Agrotrop: Journal on Agriculture Science*, 11(2), 189-199.

- Marom, N., Rizal, F. N. U., & Bintoro, M. (2017). Uji Efektivitas Saat Pemberian dan Konsentrasi PGPR (PlantGrowthPromotingRhizobacteria) terhadap Produksi dan Mutu Benih Kacang Tanah (*Arachis hypogaea* L.). *Agriprima, Journal of Applied Agricultural Sciences*, 1(2), 174-184.
- Mulyani, A., & Sarwani, M. (2013). Karakteristik dan potensi lahan sub optimal untuk pengembangan pertanian di Indonesia. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 7(1), 47-55.
- Neina, D. (2019). The role of soil pH in plant nutrition and soil remediation. *Applied and Environmental Soil Science*, 2019.
- Nguyen, T. T. N., Xu, C. Y., Tahmasbian, I., Che, R., Xu, Z., Zhou, X., ... & Bai, S. H. (2017). Effect of biochar on soil available inorganic nitrogen: a review and meta-analysis. *Geoderma*, 288, 79-96.
- Nugraha, G. B. A., Wandri, R., & Asmono, D. (2019). Solubilisasi Fosfat anorganik oleh *Burkholderia* spp. pada rizosfer kelapa sawit (*Elaeagnus* Jacq.) di tanah mineral masam. *Jurnal Lahan Suboptimal: Journal of Suboptimal Lands*, 8(1), 86-93.
- Oktaviani, D., Hasanah, Y., & Barus, A. (2014). Pertumbuhan kedelai (*Glycine max* L. Merrill) dengan aplikasi fungi mikoriza arbuskular (FMA) dan konsorsium mikroba. *Jurnal Agroekoteknologi Universitas Sumatera Utara*, 2(2), 905-918.
- Permanasari, I., Dewi, K., Irfan, M., & Arminudin, A. T. (2016). Peningkatan efisiensi pupuk fosfat melalui aplikasi mikoriza pada kedelai. *Jurnal Agroteknologi*, 6(2), 23-30.
- Putri, T. E., Yuliani, Y. & Trimulyono, G. (2019). Penggunaan mikoriza vesikular arbuskular (MVA) genus *glomus* untuk meningkatkan pertumbuhan dan produksi tanaman kacang hijau (*Vigna radiata*) pada cekaman air. *Lentera Bio*, 8(2), 107-112.
- Putri, V. I., & Hidayat, B. (2017). Pemberian beberapa jenis biochar untuk memperbaiki sifat kimia tanah ultisol dan pertumbuhan tanaman jagung. *Jurnal Online Agroekoteknologi*, 5(4), 824-828.
- Rajmi, S. L., Margaretha, M., & Refliati, R. (2018). peningkatan ketersediaan P ultisol dengan pemberian fungi mikoriza arbuskular. *Jurnal Agroecotania: Publikasi Nasional Ilmu Budidaya Pertanian*, 1(2), 42-48.
- Sari, E., Flatian, A. N., Sari, Z. I., & Sulaeman, E. (2018). Isolasi dan karakterisasi *Rhizobium* dari *Glycine max* L. dan *Mimosa pudica* Linn. *EKOTONIA: Jurnal Penelitian Biologi, Botani, Zoologi Dan Mikrobiologi*, 3(2), 55-62.