

*Jurnal*  
**TANAMAN INDUSTRI  
 DAN PENYEGAR**  
 Journal of Industrial and Beverage Crops  
 Volume 7, Nomor 1, Maret 2020

**RESPONS BENIH KAKAO TERHADAP AMELIORAN, MIKROB PELARUT  
 FOSFAT, DAN PUPUK FOSFAT PADA TANAH MASAM**

*RESPONSE OF CACAO SEEDLINGS TO AMELIORANT, PHOSPHATE SOLUBILIZING MICROBES,  
 AND PHOSPHATE FERTILIZERS IN ACID SOIL*

\* Kurnia Dewi Sasmita<sup>1)</sup>, Iswandi Anas<sup>2)</sup>, Syaiful Anwar<sup>2)</sup>, Sudirman Yahya<sup>3)</sup>, Gunawan Djajakirana<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> **Balai Penelitian Tanaman Industri dan Penyegar**

Jalan Raya Pakuwon Km 2 Parungkuda, Sukabumi 43357 Indonesia

\*kdsasmita79@yahoo.com

<sup>2)</sup> **Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, IPB**

Jalan Meranti, Kampus IPB, Dramaga, Bogor 16680 Indonesia

<sup>3)</sup> **Departemen Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian, IPB**

Jalan Meranti, Kampus IPB, Dramaga, Bogor 16680 Indonesia

(Tanggal diterima: 31 Desember 2019, direvisi: 6 Maret 2020, disetujui terbit: 30 Maret 2020)

**ABSTRAK**

Pertumbuhan tanaman kakao di tanah kering masam umumnya dibatasi oleh beberapa kendala seperti rendahnya P tersedia dan pH, serta tingginya kejenuhan Al. Oleh karena itu, diperlukan penelitian untuk memecahkan masalah budidaya kopi di tanah kering masam. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pemberian amelioran, mikrob pelarut fosfat (MFP), dan pupuk fosfat (P) terhadap pertumbuhan dan serapan hara benih kakao serta beberapa sifat tanah masam. Penelitian menggunakan rancangan acak kelompok dengan susunan perlakuan faktorial 3 faktor dan 3 ulangan. Faktor pertama adalah pemberian amelioran: tanpa amelioran, pupuk organik 10%, arang sekam padi 4%, dan arang sekam padi 4% + pupuk organik 10%. Faktor kedua adalah pemberian MPF: tanpa MPF, inokulan *Burkholderia ambifaria* (BPF), dan inokulan *Aspergillus niger* (FPF). Faktor ketiga adalah pemberian pupuk P (tanpa Fosfat Alam (FA), FA 100, 200, dan 400 mg P/kg, dan SP-36 400 mg P/kg). Hasil penelitian menunjukkan bahwa amelioran berupa arang sekam padi 4% + pupuk organik 10% + BPF atau PPF dapat meningkatkan jumlah daun masing-masing sebesar 77,9% dan 69,2%, serta meningkatkan bobot kering tajuk masing-masing sebesar 93,6% dan 101,9%. Pemberian pupuk FA secara tunggal pada media tanpa pupuk organik dapat meningkatkan bobot kering tajuk dan akar benih kakao, serta serapan P, Ca, dan Mg dalam tajuk secara linier sejalan dengan peningkatan dosis FA hingga 400 mg P/kg. Aplikasi amelioran berupa arang sekam padi meningkatkan aktivitas fosfatase asam media tanam. Amelioran berupa pupuk organik meningkatkan pH tanah, aktivitas fosfatase asam dan P tersedia, serta menurunkan Al-dd media tanam.

**Kata kunci:** Arang sekam padi; *Aspergillus niger*; *Burkholderia ambifaria*; pupuk organik; serapan hara

**ABSTRACT**

*The growth of cacao in acid soils is commonly limited by some problems such as low available P and pH, and high Al saturation. Therefore, research is needed to solve the problem of coffee cultivation in acid soil. This study aimed to determine the effect of ameliorant, phosphate solubilizing microbes (PSM), and phosphate fertilizers (P) on the growth and nutrient uptake of cacao seedlings, and some acid soil properties. The study used a randomized block design with 3 factors and 3 replications. The first factor was ameliorant applications (without ameliorant, 10% organic fertilizer, 4% rice husk biochar, 4% rice husk biochar + 10% organic fertilizer). The second factor was PSM applications: without PSM, Burkholderia ambifaria (BPF)*

inoculants, and *Aspergillus niger* (FPF) inoculants. The third factor was P fertilizers applications (without Phosphate Rock (PR), 100, 200, and 400 mg P/kg of PR, and 400 mg P/kg of SP-36). The results showed that the applications of 4% rice husk biochar + 10% organic fertilizer + BPF or FPF inoculants increase the number of leaves by 77.9% and 69.2%, respectively, and increase the dry weight of shoot by 93.6 % and 101.9%, respectively. Phosphate rock application in media without organic fertilizer increases dry weight of shoots and roots of cacao seedlings, and the uptake of P, Ca, and Mg in shoots linearly in line with the increase of PR dose to 400 mg P/kg. Application of rice husk biochar significantly increased the acid phosphatase activity of growing media. Meanwhile, organic fertilizer increased the soil pH, acid phosphatase and available P activity, and decreased Al-dd growing media.

**Keywords:** *Aspergillus niger*; *Burkholderia ambifaria*; nutrient uptake; organic fertilizer; rice husk biochar

## PENDAHULUAN

Pertumbuhan tanaman kakao di tanah masam umumnya menghadapi permasalahan berupa ketersediaan fosfor (P) yang rendah, serta beberapa sifat pembatas lainnya seperti pH tanah rendah, kandungan bahan organik dan kation basa rendah, serta kejenuhan Al yang tinggi. Tanah masam umumnya miskin P karena P teradsorpsi pada permukaan mineral liat dan fiksasi P yang tinggi oleh oksida dan hidroksida Al/Fe (Shen et al., 2011; Yuan et al., 2017). Kejenuhan Al yang tinggi (>40%) di tanah masam bersifat toksik bagi tanaman kakao, dan juga menghambat serapan hara lainnya seperti Ca dan P (Baligar & Fageria, 2005; Wessel 1985).

Unsur P dibutuhkan oleh tanaman kakao sejak awal pertumbuhan sampai produksi. Kekurangan unsur P dapat menjadi salah satu faktor pembatas bagi pertumbuhan tanaman kakao. Hal tersebut karena P merupakan unsur makro yang penting untuk proses metabolisme dari beberapa molekul seperti karbohidrat, lemak, dan protein. Selain itu P memainkan peran struktural dalam tanaman dan terlibat langsung dalam proses transfer dan penyimpanan energi (de Aquino, dos Santos, & Batista, 2019). Defisiensi P pada tanaman kakao ditunjukkan dengan kadar P pada daun di bawah 0,13%, sementara nilai kecukupan kadar hara daun kakao lebih besar dari 0,20% (Wessel, 1985). Secara visual, tanaman yang mengalami defisiensi P biasanya menunjukkan gejala seperti kurang berkembangnya daun, penurunan luas daun, warna daun gelap, dan penurunan jumlah daun (Marschner, 1993). Pada benih kakao, tanaman kekurangan P ditunjukkan dengan terhambatnya perkembangan akar dan batang yang kecil dan pendek (Suparno, 2008).

Pertanaman kakao di tanah kering masam memerlukan pemupukan P untuk mengatasi kekurangan P. Pupuk fosfat alam (FA) merupakan pupuk P alternatif yang cocok untuk tanah masam karena sifatnya mudah larut pada kondisi masam, dan dapat menurunkan Al-dd tanah. Tingginya tingkat fiksasi P pada tanah masam, menyebabkan kebutuhan pupuk P seperti TSP dan FA dalam jumlah besar untuk mengatasi kejenuhan ion Al dan Fe, sehingga tidak ekonomis (Ch'ng, Ahmed, & Majid, 2014). Upaya untuk mengurangi kebutuhan

pupuk P dapat diatasi melalui pemberian input lainnya seperti: amelioran organik dan mikrob pelarut fosfat (MPF).

Pemberian pupuk organik dan arang (*biochar*) sebagai amelioran untuk tanah masam dapat meningkatkan kualitas tanah termasuk peningkatan hara P. Pemberian arang merespon lebih baik oleh tanaman apabila diberikan bersama pupuk organik (Sasmita, Anwar, Yahya, & Djajakirana, 2017). Ameliorasi tanah dengan arang atau pupuk organik atau campuran arang dan pupuk organik dapat meningkatkan kadar P total, P tersedia, fraksi P inorganik, dan P organik (Ch'ng et al., 2014), sehingga dapat mengurangi kebutuhan pupuk P. Pupuk organik dapat menyuplai P secara langsung, selain itu asam organik yang dihasilkan dalam dekomposisi bahan organik akan melarutkan batuan, dan juga akan mengkhelat Al dan Fe sehingga akan mencegah fiksasi P dalam tanah (Djuniwati, Nugroho, & Pulunggono, 2012). Pencampuran pupuk organik kulit kakao dengan FA akan menguntungkan bagi ketersediaan fosfat dalam tanah. Sementara kajian interaksi arang dengan FA untuk pertumbuhan tanaman kakao di tanah masam juga masih menarik untuk diteliti.

Aplikasi MPF dapat berperan dalam meningkatkan pertumbuhan dan serapan hara tanaman melalui kemampuan mikrob dalam melarutkan FA dan bentuk P yang terikat dengan logam Al dan Fe serta Ca (Whitelaw, Harden, & Helyar, 1999; Nath, Maurya, & Vijay, 2017). Mikrob pelarut fosfat (MPF) juga dapat memiliki kemampuan lainnya seperti pelarut K, fiksasi N<sub>2</sub>, antipatogen, produksi siderofor dan menghasilkan hormon pemacu tumbuh seperti IAA, giberelin, sitokinin, (Parani & Saha, 2012; Zhao et al., 2014; Castro-gonzález, Martínez-aguilar, Ramírez-trujillo, Los Santos, & Caballero-Mellado, 2011; Awais et al., 2017; Nath et al., 2017).

Studi untuk mengkaji input yang tepat untuk mengatasi faktor pembatas bagi pertumbuhan tanaman kakao di tanah masam dapat diawali pada skala pembenihan. Studi tentang amelioran arang dan kombinasinya dengan input lainnya seperti pupuk organik, pupuk P dan pupuk hayati terkait dengan peningkatan ketersediaan P untuk tanaman menarik untuk dikaji agar diperoleh jenis input dan kombinasinya yang tepat, efisien, dan dapat menjadi alternatif untuk

menghasilkan pertumbuhan tanaman yang optimal di tanah masam. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh amelioran (arang dan pupuk organik), MPF, dan pupuk P terhadap pertumbuhan benih kakao, serapan hara P, Ca, dan Mg benih kakao dan beberapa sifat tanah (pH, P tersedia, Al-dd, aktifitas fosfatase asam).

## BAHAN DAN METODE

### Tempat dan Waktu

Kegiatan penelitian dilaksanakan di kebun percobaan Pakuwon, Balitri di Sukabumi dan laboratorium Kesuburan Tanah dan Bioteknologi Tanah, Departemen ITSL, Fakultas Pertanian, IPB di Bogor. Penelitian dilaksanakan mulai bulan Juni tahun 2015 sampai dengan bulan Mei 2016.

### Bahan dan Alat

Peralatan untuk penanaman dan pengamatan benih di rumah paranet adalah polybag ukuran 20 cm x 30 cm, paranet 60%, ayakan 5 mm, meteran, dan jangka sorong digital. Peralatan untuk analisis dan pengamatan antara lain: AAS, spektrofotometer dan peralatan pendukung lainnya di laboratorium kimia dan bioteknologi tanah. Bahan yang digunakan dalam percobaan ini adalah: bahan tanah dari *Typic Hapludults* yang berasal dari Jasinga, Bogor, arang sekam padi, pupuk organik dari campuran kulit kakao dan kotoran sapi, inokulan bakteri pelarut fosfat (BPF) *Burkholderia ambifaria* B-SS1.2, inokulan fungi pelarut fosfat (FPF) *Aspergillus niger* F-E1, benih kakao hibrida dari pohon induk Sulawesi 1, fosfat alam (FA) dari Ciamis, pupuk SP-36, Urea, dan KCl.

Tanah yang digunakan memiliki karakteristik: pH H<sub>2</sub>O (1:5) 3,9, C organik 1,6%, N total 0,26%, P tersedia Bray I 1,77 mg/kg, K-dd 0,27 cmol(+)/kg, Ca-dd 1,62 cmol(+)/kg, Mg-dd 1,68 cmol(+)/kg, KTK 31,9 cmol(+)/kg, Al-dd 19,82 cmol(+)/kg dan H-dd 0,59 cmol(+)/kg. Arang sekam padi yang digunakan memiliki karakteristik yaitu: kadar air 7,53%, pH H<sub>2</sub>O (1:10) 7,0, N total 0,83%, C total 40,24%, Nisbah C/N 48,5, KTK 14,52 cmol (+)/kg, P total 0,15%, K total 0,48%, Ca total 0,17%, Mg total 0,13%, dan Na total 0,14%. Pupuk organik yang digunakan memiliki karakteristik antara lain: kadar air 24,33%, pH H<sub>2</sub>O (1:10) 8,5, N total 1,87%, C total 38,73%, Nisbah C/N 20,7, KTK 66,09 cmol (+)/kg, P total 0,57%, K total 4,62%, Ca total 1,03%, Mg total 0,97%, dan Na total 1,43%. Fosfat alam yang digunakan memiliki kandungan P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total 21,89%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> asam sitrat 2% 16,67%, CaO 45,96%, dan MgO 0,11 %.

### Rancangan Penelitian

Percobaan menggunakan rancangan acak kelompok (RAK) dengan susunan perlakuan faktorial yang terdiri dari 3 faktor. Faktor pertama adalah empat taraf pemberian amelioran yaitu: tanpa amelioran, pupuk organik 10%, arang sekam padi 4%, dan arang sekam padi 4% + pupuk organik 10%. Faktor kedua adalah tiga taraf pemberian inokulan pelarut fosfat yaitu: tanpa inokulan, inokulan *Burkholderia ambifaria* (BPF), dan inokulan *Aspergillus niger* (FPF). Faktor ketiga adalah lima taraf pemberian pupuk P yaitu: tanpa FA (P<sub>0</sub>), FA 100 mg P/kg (P<sub>1</sub>), FA 200 mg P/kg (P<sub>2</sub>), FA 400 mg P/kg (P<sub>3</sub>), dan SP-36 400 mg P/kg (P<sub>4</sub>). Masing-masing perlakuan diulang sebanyak tiga kali, dan setiap unit percobaan terdiri dari dua benih kakao.

### Persiapan Media Tanam dan Pemeliharaan Benih

Pupuk organik ditimbang sebanyak 10%, dan arang sekam padi sebanyak 4% dari bobot total media sebesar 2,2 kg BKM (Bobot Kering Mutlak). Bahan tanah kering angin diayak dengan ayakan lolos 5 mm dan ditimbang dengan bobot sebesar 2,2 kg BKM media dikurangi BKM amelioran. Selanjutnya tanah, amelioran dan fosfat alam sesuai perlakuan diaduk sampai merata untuk tiap polybag. Semua perlakuan diberikan pupuk dasar yaitu Urea sebanyak 2 g N, dan KCl sebanyak 2 g K<sub>2</sub>O per polybag.

Persiapan inokulan MPF dilakukan dengan menumbuhkan isolat BPF pada *nutrient broth* (NB) steril selama 2 hari, dan isolat PF dalam *potatoes dextrose broth* steril (PDB) selama 5 hari. Selanjutnya dilakukan penanaman kecambah kakao dan aplikasi inokulan setelah inkubasi media tanam selama satu minggu. Sebanyak satu kecambah dipindahkan ke polybag yang telah diberi media tanam sesuai perlakuan. Inokulasi MPF diberikan di sekitar perakaran benih pada saat penanaman. Inokulan BPF diaplikasikan sebanyak 5 ml (10<sup>9</sup> SPK/ml) tiap polybag dan FPF sebanyak 5 ml (10<sup>8</sup> spora/ml) tiap polybag. Pada perlakuan kontrol tanpa inokulan, media tanam juga diberi campuran kultur cair dari kedua inokulan yang sudah disterilisasi dengan autoklaf, sebanyak 5 ml per benih.

Pemeliharaan dilaksanakan dengan penyiraman benih setiap dua sampai tiga hari sekali untuk menjaga kondisi air kapasitas lapang. Pengendalian hama penyakit dilakukan apabila terdapat gejala serangan hama penyakit pada benih. Pemeliharaan dilakukan sampai 20 Minggu Setelah Tanam (MST).

### Peubah yang Diamati dan Analisis Data

Peubah yang diamati adalah pertumbuhan dan biomassa tanaman. Pertumbuhan tanaman meliputi tinggi benih, diameter batang, dan jumlah daun yang

masing-masing diamati pada 20 MST. Biomassa tanaman meliputi bobot kering tajuk dan akar, yang ditimbang setelah tanaman dipanen pada umur 20 MST, dan dikering oven pada suhu 65°C selama 48 jam.

Analisis jaringan tanaman meliputi: kadar P, Ca, dan Mg dalam sampel tajuk (daun dan batang). Pengambilan sampel tajuk sesuai dengan penelitian Suparno (2008). Sampel dianalisis dengan menggunakan destruksi basah (ekstrak H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>+H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) dan pengukuran P menggunakan spektrofotometer, dan Ca serta Mg menggunakan AAS. Serapan P, Ca, dan Mg tajuk ditetapkan dengan mengalikan kadar hara tajuk dengan bobot kering tajuk. Analisis media tanam dilakukan pada saat panen benih kakao pada umur 20 MST. Sampel media tanam diambil di daerah sekitar perakaran benih. Analisis media tanam meliputi: pH H<sub>2</sub>O 1:5 (b/v), P tersedia metode Bray I, Al-dd (ekstrak KCl 1 M), dan aktivitas fosfatase asam (Margesin, 1996).

Data dianalisis dengan menggunakan analisis varians (ANOVA) pada taraf nyata 5%. Jika perlakuan menunjukkan pengaruh nyata maka dilanjutkan dengan uji Beda Nyata Terkecil (BNT) pada taraf nyata 5%. Tanggapan peubah tanah dan tanaman terhadap peningkatan dosis FA diuji dengan Ortogonal polinomial.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pertumbuhan dan Biomassa Benih Kakao

Hasil sidik ragam menunjukkan bahwa tinggi dan diameter batang benih kakao umur 20 MST dipengaruhi oleh interaksi perlakuan amelioran, MPF, dan pupuk P (Tabel 1 dan 2). Hasil pengamatan menunjukkan bahwa peningkatan dosis FA sampai 400 mg P/kg menghasilkan peningkatan pertumbuhan tinggi benih secara linier pada media tanpa pupuk organik kecuali perlakuan tanpa amelioran dan tanpa inokulasi (Tabel 1). Berdasarkan kriteria benih siap salur menurut Rahardjo (2011), tinggi benih yang dihasilkan dari media tanpa pupuk organik pada penelitian ini, umumnya masih termasuk benih yang kualitasnya kurang baik yaitu < 45 cm. Sementara pemberian pupuk organik bersama arang sekam padi rata-rata menghasilkan benih yang sudah memenuhi kriteria benih kualitas sedang (45-60 cm). Pupuk organik secara tunggal maupun kombinasi dengan arang sekam padi meningkatkan tinggi benih masing-masing sebesar 23,3% dan 64,1% (Tabel 1). Tinggi benih pada perlakuan pupuk organik lebih tinggi dibandingkan perlakuan arang. Hal ini karena pupuk organik yang digunakan memiliki hara yang lebih tinggi dibandingkan arang sehingga mampu mendukung pertumbuhan tanaman lebih baik.

Tabel 1. Pengaruh interaksi perlakuan amelioran, mikrob pelarut fosfat (MPF) dan pupuk P terhadap tinggi benih kakao pada umur 20 minggu setelah tanam (MST)

Table 1. Effect of interaction between ameliorant, phosphate solubilizing microbes (PSM), and P fertilizers on height of cacao seedlings at 20 weeks after planting (WAP)

Amelioran	MPF	Dosis FA (mg P/kg)				SP-36 400 mg P/kg	Kurva tanggap
		0	100	200	400		
..... Tinggi benih (cm) .....							
Tanpa	Tanpa MPF	30,67	39,00	33,67	32,00	33,67	-
	BPF	36,67	39,33	38,33	38,67	38,33	Linier (+)
	FPF	36,67	37,00	37,00	45,33	37,00	Linier (+)
P organik 10%	Tanpa MPF	37,83	42,00	44,00	41,17	44,00	-
	BPF	50,50	57,33	41,33	46,00	41,33	Linier (-)
	FPF	37,33	44,00	44,33	47,00	44,33	-
Arang 4%	Tanpa MPF	34,67	32,67	35,33	39,67	35,33	Linier (+)
	BPF	31,67	36,00	38,00	43,33	38,00	Linier (+)
	FPF	31,00	34,00	33,00	36,67	33,00	Linier (+)
Arang 4% + P organik 10%	Tanpa MPF	50,33	41,17	58,00	41,83	58,00	-
	BPF	53,67	64,83	44,67	45,33	44,67	Sisa
	FPF	47,33	50,83	45,00	50,00	45,00	-
KK (%)		.....13,85 .....					

Keterangan : Kurva tanggap terhadap dosis fosfat alam (FA) berdasarkan uji Ortogonal polinomial; MPF = mikrob pelarut fosfat; BPF = *Burkholderia ambifaria*; FPF = *Aspergillus niger*; KK = koefisien keragaman

Notes : Response curve for phosphate rock (PR) dosage based on Polynomial orthogonal test; MPF = phosphate solubilizing microbes; BPF = *Burkholderia ambifaria*; FPF = *Aspergillus niger*; KK = coefficient of variation

Tabel 2. Pengaruh interaksi perlakuan amelioran, mikrob pelarut fosfat (MPF) dan pupuk P terhadap diameter batang benih kakao pada umur 20 minggu setelah tanam (MST)

Table 2. Effect of interaction between ameliorant, phosphate solubilizing microbes (PSM), and P fertilizers on stem diameter of cacao seedlings at 20 weeks after planting (WAP)

Amelioran	MPF	Dosis FA (mg P/kg)				SP-36 400 mg P/kg	Kurva tanggap
		0	100	200	400		
Diameter batang (mm) .....							
Tanpa amelioran	Tanpa MPF	6,41	7,98	7,02	8,64	7,10	Linier (+)
	BPF	8,10	7,56	7,44	10,30	9,45	Linier (+)
	FPF	8,28	7,34	10,05	9,20	7,42	Linier (+)
P organik 10%	Tanpa MPF	7,43	7,64	9,02	7,29	8,00	-
	BPF	9,32	10,02	8,34	7,45	8,99	Linier (-)
	FPF	8,41	8,32	7,99	8,43	8,68	-
Arang 4%	Tanpa MPF	7,00	8,25	8,39	8,70	8,25	Linier (+)
	BPF	7,18	8,44	9,62	10,37	7,82	Linier (+)
	FPF	7,27	8,66	8,13	8,99	7,22	-
Arang 4% + P organik 10%	Tanpa MPF	8,17	8,49	7,74	6,81	9,70	-
	BPF	8,79	8,93	8,10	9,05	9,27	-
	FPF	8,79	9,73	7,44	8,77	8,08	-
KK (%)	.....10,58 .....						

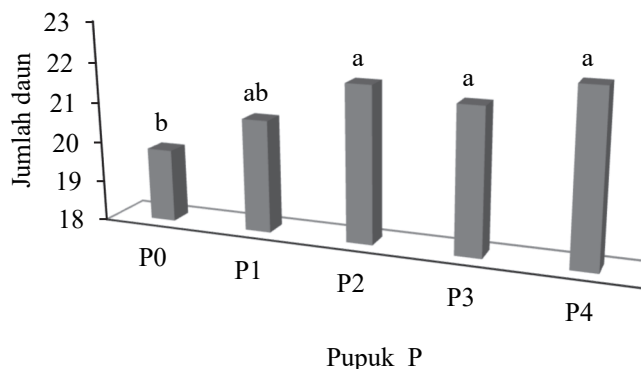
Keterangan : Kurva tanggap terhadap dosis fosfat alam (FA) berdasarkan uji Ortogonal polinomial; MPF = mikrob pelarut posfat; BPF = *Burkholderia ambifaria*; FPF = *Aspergillus niger*; KK = koefisien keragaman

Notes : Response curve for phosphate rock (PR) dosage based on Polynomial orthogonal test; MPF = phosphate solubilizing microbes; BPF = *Burkholderia ambifaria*; FPF = *Aspergillus niger*; KK = coefficient of variation

Hasil pengamatan diameter batang menunjukkan bahwa peningkatan dosis FA sampai 400 mg P/kg menghasilkan peningkatan diameter benih secara linier pada media tanpa pupuk organik kecuali perlakuan arang dan inokulasi FPF (Tabel 2). Pemberian kedua inokulan MPF dapat meningkatkan keefektifan FA terhadap tinggi dan diameter batang benih pada media tanpa amelioran terutama pada dosis FA yang tinggi (Tabel 1 dan 2). Pada media dengan arang tidak inokulasi *A. niger* tidak efektif dalam meningkatkan terhadap tinggi benih. Tinggi benih tertinggi dihasilkan oleh perlakuan kombinasi pupuk organik dan arang

dengan inokulasi *B. ambifaria* dan FA 100 mg P/kg. Sementara diameter batang yang paling besar dihasilkan oleh perlakuan kombinasi inokulasi *B. ambifaria* dan FA 400 mg P/kg pada media dengan arang.

Analisis statistik menunjukkan bahwa jumlah daun dipengaruhi oleh perlakuan pupuk P (Gambar 1) dan interaksi antara amelioran dan pemberian MPF (Tabel 3). Jumlah daun meningkat secara nyata oleh pemberian pupuk FA mulai 200 mg P/kg dan SP-36. Pemberian SP-36 menghasilkan jumlah daun yang paling tinggi tetapi tidak berbeda nyata dengan pemberian FA.



Gambar 1 Pengaruh pupuk P terhadap jumlah daun benih kakao pada umur 20 minggu setelah tanam (MST); P0 = tanpa pupuk P; P1 = fosfat alam (FA) 100 mg P/kg; P2 = FA 200 mg P/kg; P3 = FA 400 mg P/kg; P4 = SP-36 400 mg P/kg

Figure 1. Effect of P fertilizers on the number of cacao seedlings leaves at 20 weeks after planting (WAP); P0 = without fertilizer P; P1 = rock phosphate (RP) 100 mg P/kg; P2 = RP 200 mg P/kg; P3 = RP 400 mg P/kg; P4 = SP-36 400 mg P/kg

Tabel 3. Pengaruh interaksi amelioran dan mikroba pelarut fosfat terhadap jumlah daun, bobot kering tajuk dan akar, serta nisbah tajuk/akar benih kakao pada umur 20 minggu setelah tanam (MST)

Table 3. Effect of interaction between ameliorant and phosphate solubilizing microbes on number of leaves, shoot and root dry weight, and shoot / root ratio of cacao seedlings at 20 weeks after planting (WAP)

Amelioran	MPF	Jumlah daun	Bobot kering tajuk (g/benih)	Bobot kering akar (g/benih)	Nisbah tajuk/akar
Tanpa amelioran	Tanpa MPF	15,33 f	7,32 e	1,92 c	4,19 ef
	BPF	17,93 def	10,19 cd	2,26 bc	5,28 bcde
	FPF	20,07 d	9,89 cd	2,99 a	3,64 f
P organik 10%	Tanpa MPF	22,93 c	12,24 bc	2,45 abc	5,14 bcde
	BPF	25,53 abc	13,50 ab	2,42 abc	6,14 abc
	FPF	23,20 c	12,35 abc	1,90 c	7,19 a
Arang 4%	Tanpa MPF	18,87 de	10,28 cd	2,00 bc	5,60 bcd
	BPF	17,07 ef	10,03 cd	2,28 abc	5,01 cde
	FPF	16,53 ef	8,30 de	2,00 bc	4,55 def
Arang 4% + P organik 10%	Tanpa MPF	24,13 bc	12,87 ab	2,30 abc	5,87 bc
	BPF	27,27 a	14,17ab	2,66 ab	5,43 bcde
	FPF	25,93 ab	14,78 a	2,59 abc	6,30 ab
KK (%)	-	17,33	15,70	21,63	16,30

Keterangan: Angka pada kolom yang sama yang diikuti huruf yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan uji Beda Nyata Terkecil (BNT) pada  $\alpha$  5%; MPF = mikroba pelarut fosfat; BPF = *Burkholderia ambifaria*; FPF = *Aspergillus niger*; KK = koefisien keragaman

Notes : The numbers in the same column followed by the same letter are not significantly different based on the Least Significant Difference (LSD) test at  $\alpha$  5%; MPF = phosphate solubilizing microbes; BPF = *Burkholderia ambifaria*; FPF = *Aspergillus niger*; KK = coefficient of variation

Tabel 3 menyajikan pengaruh interaksi antara amelioran dan MPF terhadap jumlah daun, bobot kering tajuk, bobot kering akar, dan nisbah tajuk/akar benih kakao umur 20 MST. Berdasarkan analisis statistik, antara inokulan *A. niger* dan *B. ambifaria*, keduanya memiliki kemampuan yang tidak berbeda nyata dalam mempengaruhi jumlah daun dan bobot kering tajuk pada seluruh perlakuan amelioran.

Keefektifan MPF dalam meningkatkan jumlah daun, bobot kering tajuk dan akar bergantung pada amelioran yang diberikan. Kedua inokulan dapat meningkatkan jumlah daun dan bobot kering tajuk pada media tanpa amelioran, amelioran pupuk organik, dan kombinasi pupuk organik dan arang secara nyata maupun tidak nyata. Inokulasi MPF pada media dengan arang menghasilkan jumlah daun dan bobot kering tajuk yang lebih rendah dibanding perlakuan arang tanpa inokulasi. Hal tersebut menunjukkan bahwa inokulasi MPF tidak efektif terhadap tanaman dalam media arang. Hasil penelitian ini mendukung hasil penelitian lainnya yang dilaporkan oleh Hale (2014) bahwa aplikasi arang kayu pinus sebagai amandemen bersama inokulasi mikroba PGPR UW5 menghasilkan jumlah daun, tinggi tanaman, bobot tanaman, dan bobot akar yang tidak berbeda nyata dengan aplikasi arang tanpa inokulasi. Hale (2014) juga menjumpai arang tidak meningkatkan kolonisasi bakteri pada akar, namun demikian dia berpendapat bahwa ada kemungkinan kombinasi arang

dengan strain PGPR lainnya dapat memberikan keuntungan bagi perkembangan tanaman. Keefektifan MPF terhadap pertumbuhan tanaman sangat bergantung pada tingkat daya tahan hidup dan tingkat kolonisasi MPF di rhizosfer dan kompetisi dengan mikroba asli di rhizosfer dan tanah, serta faktor sifat tanah dan tekanan abiotik (Adhya et al., 2015).

Bobot kering akar meningkat secara nyata dibanding kontrol pada perlakuan inokulasi *A. niger* pada media tanpa amelioran (Tabel 3). Hasil perhitungan nisbah tajuk/akar (T/A) menunjukkan bahwa kombinasi *A. niger* dengan pupuk organik baik tanpa maupun dengan arang, menghasilkan nisbah T/A yang nyata lebih tinggi dibandingkan kontrol (tanpa amelioran dan inokulan). Kombinasi *B. ambifaria* dengan pupuk organik juga nyata menghasilkan nisbah T/A lebih tinggi.

Perlakuan kombinasi pupuk organik dan arang dengan inokulasi *B. ambifaria*, atau *A. niger*, dapat direkomendasikan sebagai kombinasi terbaik, karena kedua kombinasi perlakuan tersebut dapat menghasilkan jumlah daun dan bobot kering tajuk benih kakao yang tinggi. Pada media dengan pupuk organik saja tanpa inokulan dapat meningkatkan jumlah daun dan bobot kering tajuk masing-masing sebesar 49,6% dan 67,2% dibandingkan control. Sementara pada media dengan kombinasi pupuk organik dan arang yang diberi inokulasi *B. ambifaria* atau *A. niger* dapat menghasilkan

peningkatan jumlah daun masing-masing sebesar 77,9% dan 69% dan peningkatan bobot tajuk masing-masing sebesar 93,6% dan 101,9% dibandingkan kontrol (Tabel 3).

Bobot kering tajuk dan akar juga dipengaruhi oleh interaksi perlakuan amelioran dan pupuk P (Tabel 4). Hasil uji ortogonal polinomial menunjukkan bahwa peningkatan dosis FA sampai 400 mg P/kg pada media tanpa pupuk organik, meningkatkan secara linier bobot kering tajuk dan akar. Pemberian FA pada media tanpa amelioran dan amelioran arang menghasilkan peningkatan bobot kering tajuk masing-masing dengan persamaan linier:  $y = 0.012x + 6.943$ ,  $R^2 = 0.974$  dan  $y = 0.019x + 6.364$ ,  $R^2 = 0.993$ . Sedangkan peningkatan bobot kering akar oleh pemberian FA pada media tanpa amelioran dan amelioran arang masing-masing memiliki persamaan linier:  $y = 0.002x + 1.877$ ,  $R^2 = 0.957$  dan  $y = 0.005x + 1.237$ ,  $R^2 = 0.963$ .

Pada media yang diberi pupuk organik, peningkatan dosis FA di atas 100 mg P/kg tidak menghasilkan peningkatan bobot benih (Tabel 4). Pemberian pupuk organik bersama pupuk P di atas 100 mg P/kg menghasilkan kadar P tersedia yang sangat tinggi dan dapat mengganggu penyerapan hara lainnya sehingga menurunkan pertumbuhan benih. Hasil ini mengindikasikan bahwa penggunaan pupuk organik dapat mengurangi penggunaan FA dari 400 menjadi 100 mg P/kg atau hanya 25% dari dosis awal. Tanaman yang diberi pupuk organik menghasilkan daun yang lebih banyak dan bobot tajuk lebih tinggi yang tidak dapat dicapai oleh perlakuan tanpa pupuk organik, walau dengan inokulasi MPF dan FA dosis tinggi. Hal tersebut karena pupuk organik dapat mencukupi hara

yang lebih lengkap dan perbaikan sifat lainnya seperti peningkatan pH dan penurunan Al-dd.

Respon bobot kering benih terhadap pemberian arang menunjukkan bahwa pemberian arang dengan FA pada dosis di atas 200 mg P/kg menghasilkan biomassa yang lebih besar dibanding perlakuan tanpa amelioran dan FA pada dosis sama. Hal tersebut menunjukkan bahwa apabila arang dan FA pada dosis tertentu diaplikasi bersama-sama lebih menguntungkan untuk perbaikan sifat tanah masam dan menunjang pertumbuhan tanaman.

### Serapan Hara P, Ca, dan Mg Tajuk Benih Kakao

Hasil sidik ragam menunjukkan bahwa serapan P, Ca dan Mg dalam tajuk dipengaruhi sangat nyata oleh interaksi amelioran dan pupuk P. Serapan P dan Mg juga dipengaruhi secara nyata oleh pemberian MPF.

Serapan P, Ca, dan Mg meningkat secara linier seiring dengan peningkatan dosis FA pada media tanpa amelioran dan amelioran arang (Tabel 5). Hal ini menunjukkan pupuk FA tidak hanya sebagai sumber P tetapi juga sebagai bahan yang memasok hara Ca dan Mg sehingga serapan ketiga hara tersebut dalam benih meningkat. Serapan hara yang dihasilkan oleh perlakuan FA pada media tanpa pupuk organik, masih lebih rendah dibandingkan pada media dengan pupuk organik. Pemberian arang dan FA pada dosis tinggi nampaknya bersinergi dalam menghasilkan serapan Ca dan Mg yang lebih tinggi dibanding tanpa amelioran. Arang tidak menghasilkan serapan P bibit yang lebih tinggi dibanding tanpa amelioran karena suplai P oleh arang termasuk rendah.

Tabel 4. Pengaruh interaksi amelioran dan pupuk P terhadap bobot kering tajuk dan akar benih kakao pada umur 20 minggu setelah tanam (MST)

Table 4. Effect of interaction between ameliorant and phosphate fertilizers on shoot and root dry weight of cacao seedlings at 20 weeks after planting (WAP)

Amelioran	Dosis FA (mg P/kg)				SP-36 400 mg P/kg	Kurva tanggap
	0	100	200	400		
..... Bobot kering tajuk (g/benih).....						
- Tanpa amelioran	6,83	8,56	8,98	11,87	9,42	Linier (+)
- P organik 10%	12,78	14,26	12,53	11,78	12,11	-
- Arang 4%	6,28	8,18	10,75	14,14	8,31	Linier (+)
- Arang 4% + P organik 10%	14,08	15,44	11,85	12,38	15,96	-
KK (%)	..... 28,12 .....					
..... Bobot kering akar (g/benih) .....						
- Tanpa amelioran	1,98	2,02	2,46	3,04	2,46	Linier (+)
- P organik 10%	2,28	2,68	2,09	1,75	2,50	-
- Arang 4%	1,36	1,54	2,50	3,46	1,62	Linier (+)
- Arang 4% + P organik 10%	2,67	2,89	2,04	2,11	2,88	-
KK (%)	..... 40,84 .....					

Kerangan: Kurva tanggap terhadap dosis fosfat alam (FA) berdasarkan uji Ortogonal polinomial; KK = koefisien keragaman

Notes : Response curve for phosphate rock (PR) dosage based on Polynomial orthogonal test; KK = coefficient of variation

Tabel 5. Pengaruh interaksi amelioran dan pupuk P terhadap serapan hara P, Ca, dan Mg dalam tajuk benih kakao pada umur 20 minggu setelah tanam (MST)

Table 5. Effect of interaction between ameliorant and P fertilizers to P, Ca, Mg uptake in shoot of cacao seedlings at 20 weeks after planting (WAP)

Amelioran	Dosis FA (mg P/kg)				SP-36400 mg P/kg	Kurva tanggap
	0	100	200	400		
..... Serapan P (mg/tajuk) .....						
- Tanpa amelioran	12,22	16,00	18,24	24,27	20,54	Linier (+)
- P organik 10%	43,26	46,19	40,90	37,95	43,86	-
- Arang 4%	9,29	11,06	18,26	23,29	18,60	Linier (+)
- Arang 4% + P organik 10%	39,27	46,02	36,22	45,22	55,90	-
KK (%)	..... 36,14 .....					
..... Serapan Ca (mg/tajuk) .....						
- Tanpa amelioran	9,66	21,83	21,99	43,35	18,30	Linier (+)
- P organik 10%	51,25	67,47	52,51	55,65	54,65	-
- Arang 4%	8,06	14,80	33,74	56,11	19,34	Linier (+)
- Arang 4% + P organik 10%	45,20	53,39	46,55	61,99	60,73	Linier (+)
KK (%)	..... 36,22 .....					
..... Serapan Mg (mg/tajuk) .....						
- Tanpa amelioran	11,68	17,70	16,11	22,69	16,45	Linier (+)
- P organik 10%	46,69	50,07	49,46	44,17	45,20	-
- Arang 4%	9,89	13,25	20,64	26,03	15,50	Linier (+)
- Arang 4% + P organik 10%	50,09	51,11	47,06	45,95	52,48	-
KK (%)	..... 33,46 .....					

Keterangan: Kurva tanggap terhadap dosis fosfat alam (FA) berdasarkan uji Ortogonal polinomial; KK = koefisien keragaman

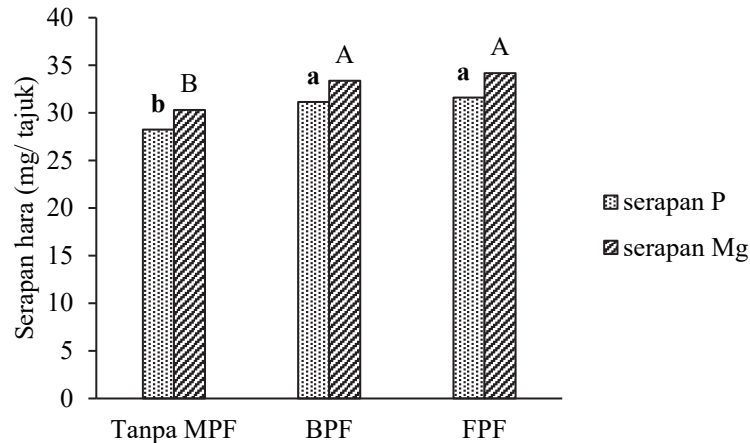
Notes : Response curve for phosphate rock (PR) dosage based on Polynomial orthogonal test; KK = coefficient of variation

Pemberian pupuk organik (tunggal maupun kombinasi) meningkatkan serapan P, Ca, dan Mg dalam tajuk benih kakao (Tabel 5). Media pupuk organik saja (tanpa pupuk P) menghasilkan peningkatan serapan P, Ca, dan Mg masing-masing sebesar 254%, 431%, dan 300%.

Pupuk organik berperan penting dalam pemenuhan hara P, Ca, dan Mg benih kakao dan meningkatkan efisiensi pemupukan pada tanah masam. Tanggap positif benih terhadap pemberian pupuk organik atau FA dalam meningkatkan serapan P, Ca, dan Mg jika dibandingkan dengan perlakuan kontrol (tanpa amelioran dan pupuk P) menunjukkan bahwa ketersediaan P dan kejenuhan basa yang rendah pada tanah masam Jasinga merupakan faktor yang membatasi pertumbuhan dan serapan hara benih kakao. Peningkatan serapan P, Ca, dan Mg oleh pemberian

pupuk organik dan FA disebabkan oleh pengaruh langsung maupun tidak langsung. Kedua input tersebut secara langsung memasok hara P, Ca, dan Mg dalam tanah, dan peranan tidak langsung terhadap peningkatan serapan hara melalui penurunan Al-dd tanah yang meningkatkan perkembangan akar sehingga meningkatkan serapan ketiga hara tersebut, serta kecukupan hara-hara lainnya.

Serapan P dan Mg dalam tajuk meningkat nyata oleh pemberian inokulan *B. ambifaria* dan *A. niger* (Gambar 2). Hal ini juga dilaporkan oleh (Li, Hwang, Huang, & Huang, 2018) bahwa strain mikroba pelarut fosfat dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman tomat dan serapan P, K, Ca, Mg, dan Mn melalui kemampuannya dalam memacu pertumbuhan yaitu pelarutan fosfat, produksi IAA, siderofor, dan antipatogen.



Gambar 2. Pengaruh mikrob pelarut fosfat (MPF) terhadap serapan P dan Mg tajuk benih kakao pada umur 20 minggu setelah tanam (MST); tanpa MPF = tanpa mikrob pelarut fosfat; BPF = *Burkholderia ambifaria*; FPF = *Aspergillus niger*

Figure 2. Effect of phosphate solubilizing microbes on P and Mg uptake in shoots of cacao seedlings at 20 weeks after planting (WAP); without MPF = without phosphate solubilizing microbes; BPF = *Burkholderia ambifaria*; FPF = *Aspergillus niger*

Tabel 6. Pengaruh amelioran, mikrob pelarut fosfat, dan pupuk P terhadap pH H<sub>2</sub>O dan aktivitas fosfatase asam pada tanah masam  
Table 6. Effect of ameliorant, phosphate solubilizing microbes, and P fertilizers on pH H<sub>2</sub>O and acid phosphatase activity in acid soil

Perlakuan	pH H <sub>2</sub> O	Aktivitas fosfatase asam (mg pNP/g/jam)
<b>Amelioran:</b>		
- Tanpa amelioran	3,75 b	0,32 d
- P organik 10%	4,27 a	0,87 a
- Arang 4%	3,57 c	0,40 c
- Arang 4% + P organik 10%	4,21 a	0,76 b
<b>Mikrob Pelarut Fosfat (MPF):</b>		
- Tanpa MPF	3,95	0,59
- BPF ( <i>Burkholderia ambifaria</i> )	3,95	0,59
- FPF ( <i>Aspergillus niger</i> )	3,95	0,58
<b>Pupuk P:</b>		
- Tanpa pupuk P	3,96	0,59
- FA 100 mg P/kg	3,95	ta
- FA 200 mg P/kg	3,94	0,60
- FA 400 mg P/kg	3,92	0,61
- SP-36 400 mg P/kg	3,97	0,55
KK (%)	24,66	20,93

Keterangan : Angka pada kolom yang sama yang diikuti huruf yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan uji Beda Nyata Terkecil (BNT) pada  $\alpha$  5%; ta = tidak dianalisis; FA = fosfat alam; KK = koefisien keragaman

Notes : The numbers in the same column followed by the same letter are not significantly different based on the Least Significant Difference (LSD) test at  $\alpha$  5%; ta = not analyzed; FA = phosphate rock; KK = coefficient of variation

### Sifat Media Tanam Setelah Akhir Tanam

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemberian amelioran berpengaruh nyata terhadap pH dan aktivitas fosfatase asam media tanam. Pemberian pupuk organik 10% baik secara tunggal maupun dengan kombinasi arang meningkatkan pH tanah dan aktivitas fosfatase secara nyata lebih tinggi dibandingkan tanpa amelioran (Tabel 6). Pemberian pupuk organik meningkatkan pH tanah disebabkan karena penambahan kation basa, amonifikasi dan produksi NH<sub>3</sub> yang dihasilkan selama dekomposisi pupuk organik,

dekarboksilasi dari anion organik, adsorpsi spesifik dari bahan humat dan/atau molekul organik ke dalam hidroksida Al dan Fe sehingga melepaskan OH<sup>-</sup> serta adanya pertukaran proton antara tanah dan bahan organik yang ditambahkan (Wong & Swift, 2001).

Aplikasi arang sekam padi 4% dapat meningkatkan aktivitas fosfatase asam dalam tanah tetapi menurunkan pH media hingga lebih rendah dibandingkan tanpa amelioran. Hal ini menunjukkan bahwa kemampuan netralisir kemasaman tanah oleh arang sekam padi hanya kecil dan bersifat sementara

akibat kandungan basa-basa dalam arang sudah tercuci dan adanya kapasitas buffer pada tanah yang besar. Penurunan pH oleh arang ini dapat disebabkan oleh produksi gugus fungsional asam akibat oksidasi arang (X.-H. Liu & Zhang, 2012).

Pada hasil penelitian ini juga dijumpai bahwa fosfat alam (FA) tidak menyebabkan perubahan pH seiring waktu dalam jangka waktu 20 minggu setelah aplikasi. Hasil ini mendukung hasil penelitian lainnya oleh (Opala, Okalebo, & Othieno, 2012) yang melaporkan bahwa pemberian fosfat alam tidak berpengaruh nyata terhadap pH tanah pada masa inkubasi 16 minggu.

Aktivitas fosfatase asam pada penelitian ini meningkat secara nyata oleh pemberian pupuk organik dan/atau arang. Enzim fosfatase merupakan enzim yang bertanggung jawab dalam proses hidrolisis dari fosfat yang terikat secara organik menjadi bentuk ion bebas, sehingga dapat dimanfaatkan oleh tanaman. Ketersediaan enzim fosfatase dihasilkan oleh mikroba tanah dan akar tanaman. Amelioran organik ini dapat merangsang mikroba tanah untuk memproduksi enzim fosfatase. Beberapa studi yang dilakukan dalam jangka pendek maupun jangka panjang juga melaporkan bahwa aplikasi kompos/pupuk organik dapat meningkatkan aktivitas fosfatase dalam tanah (C. H. Liu, Liu, Fan, & Kuang, 2013; Takeda, Nakamoto, Miyazawa, Murayama, & Okada, 2009).

Aplikasi arang juga dijumpai oleh beberapa peneliti dapat meningkatkan aktivitas fosfatase asam maupun basa (Akça & Namlı, 2015; Trupiano et al., 2017). Hal ini kemungkinan karena arang dapat meningkatkan populasi dan aktivitas mikroba. Namun

penambahan arang bersama pupuk organik justru menurunkan aktivitas fosfatase asam dibanding perlakuan pupuk organik saja. Arang mempengaruhi aktivitas enzim melalui stimulasi aktivitas mikroba atau mensorpsi substrat. Hasil penelitian Sasmita *et al.*, 2017b, kombinasi arang dan pupuk organik tidak menghasilkan peningkatan populasi mikroba dibanding media dengan pupuk organik saja sehingga kemungkinan aktivitas mikroba termasuk mikroba penghasil fosfatase juga tidak meningkat. Selain itu, adanya penyerapan substrat atau enzim oleh arang sekam padi menyebabkan penurunan aktivitas fosfatase pada media dengan kombinasi pupuk organik dan arang. Seperti yang dilaporkan oleh Swaine, Obriake, Clark, & Shaw (2013) bahwa pencampuran arang kayu pinus dan jerami *barley* dalam tanah yang sudah disterilkan menyebabkan penurunan yang signifikan dalam konsentrasi substrat dan produk enzim fosfatase yang terekstrak.

Pengaruh interaksi amelioran dan pupuk P terhadap kadar P tersedia dan Al-dd tanah setelah tanam disajikan pada Tabel 7. Pemupukan SP-36 pada beberapa jenis amelioran menghasilkan P tersedia tanah yang lebih rendah dibanding FA pada dosis yang sama, kecuali pada amelioran pupuk organik. Hal tersebut dapat terjadi karena tingkat ketersediaan P dari FA yang cukup tinggi di kondisi masam, dan kemungkinan adanya penurunan fiksasi P oleh Al akibat pemberian FA. Pupuk organik 10% dari limbah kulit kakao dilaporkan dapat meningkatkan ketersediaan P tanah menjadi status P sangat tinggi, serta meningkatkan kadar hara lainnya dan menurunkan Al-dd tanah (Sasmita, Anas, Anwar, Yahya, & Djajakirana, 2017).

Tabel 7. Pengaruh interaksi amelioran dan pupuk P terhadap kadar P tersedia dan Al dapat ditukar pada tanah masam  
 Table 7. Effect of interaction between ameliorant and P fertilizers on available P and exchangeable Al in acid soil

Amelioran	Dosis FA (mg P/kg)				SP-36 400 mg P/kg	Kurva tanggap
	0	100	200	400		
..... Kadar P tersedia (mg P/kg) .....						
- Tanpa amelioran	1,91	16,36	52,74	141,70	97,78	Linier (+)
- P organik 10%	97,89	108,67	147,93	204,45	217,11	Linier (+)
- Arang 4%	8,78	29,22	54,74	156,51	120,53	Linier (+)
- Arang 4% + P organik 10%	124,01	153,54	183,84	246,25	221,13	Linier (+)
KK (%)	.....31,00 .....					
..... Al dapat ditukar (cmol(+)/kg) .....						
- Tanpa amelioran	19,17	18,52	17,51	14,22	16,78	Linier (-)
- P organik 10%	4,70	5,06	3,77	2,09	3,63	Linier (-)
- Arang 4%	18,51	18,28	17,04	16,28	18,64	Linier (-)
- Arang 4% + P organik 10%	3,85	3,50	2,85	2,33	3,73	Linier (-)
KK (%)	.....12,21 .....					

Keterangan: Kurva tanggap terhadap peningkatan dosis fosfat alam (FA) berdasarkan uji Ortogonal polinomial; KK = koefisien keragaman

Notes : Response curve for phosphate rock (PR) dosage based on polynomial orthogonal test; KK = coefficient of variation

Aplikasi pupuk organik 10% pada media benih dapat meningkatkan ketersediaan P tanah menjadi sangat tinggi (97,89 mg P/kg) sehingga dapat mengurangi kebutuhan pupuk P untuk benih kakao. Pemberian pupuk organik meningkatkan P tersedia melalui mekanisme diantaranya suplai P langsung dari pupuk organik melalui proses mineralisasi fraksi P organik dan penurunan kapasitas adsorpsi P tanah melalui kombinasi Fe, Al, atau Ca dengan senyawa humat atau asam organik yang dilepaskan oleh proses dekomposisi bahan organik. Penurunan adsorpsi P juga dapat disebabkan karena tapak adsorpsi P ditempati oleh P organik terutama asam fitat, atau oleh ion P anorganik yang dilarutkan dari pupuk organik atau dilepaskan oleh mineralisasi fraksi P organik, dan karena muatan permukaan pada koloid tanah bervariasi setelah kompos diaplikasikan akibat perubahan pH tanah (Chen, Wu, & Huang, 2001).

Peningkatan dosis FA meningkatkan secara linier kadar P tersedia. Pemberian FA pada dosis 100 - 400 mg P/kg menghasilkan P tersedia tanah berkisar antara 16,36 - 141,70 mg P/kg meningkat dari kondisi kontrol 1,91 mg P/kg. Pemberian arang meningkatkan ketersediaan P dibanding kontrol. Dalam penelitian ini kemungkinan mekanisme yang terjadi adalah arang menyuplai langsung P dari abu yang terkandung dalam arang, serta arang dapat mempengaruhi aktivitas kation yang berinteraksi dengan P (Cui *et al.* 2011). Penelitian Parvage, Ullén, Eriksson, Strock, & Kirchmann (2013), menunjukkan bahwa arang mempengaruhi retensi-adsorpsi P pada tapak pengikatan P dan pengendapan P melalui dua mekanisme yaitu: kation  $Ca^{2+}$  dan  $Mg^{2+}$  yang ditambahkan arang dan arang bertindak sebagai sink atau sumber P ketika diaplikasikan dalam jumlah yang tinggi. Pada penelitian ini, pemberian arang dalam kombinasinya dengan pupuk organik dan berbagai dosis FA menghasilkan P tersedia yang lebih tinggi dibandingkan dengan amelioran pupuk organik tanpa arang. Hal tersebut menunjukkan bahwa arang berperan dalam meningkatkan ketersediaan P dari pupuk organik atau mencegah fiksasi P yang terlepas dari pupuk organik.

Peningkatan dosis FA menurunkan secara linier Al-dd pada semua perlakuan amelioran. Fosfat alam (FA) mengandung Ca dan Mg yang potensial mengurangi kejenuhan Al melalui pengaruh pengapuran (Opala *et al.*, 2012). Penurunan Al-dd oleh FA pada media tanpa pupuk organik masih menghasilkan Al-dd yang tinggi. Pengaruh negatif dari tingginya kelarutan Al terhadap tanaman kakao dilaporkan oleh Baligar & Fageria (2005). Amelioran pupuk organik menurunkan Al-dd media tanam menjadi status rendah. Penurunan Al-dd ini dihasilkan melalui reaksi kimia antara gugus fungsional bermuatan negatif dari molekul organik

dengan kation Al polivalen dalam larutan sehingga mengurangi kelarutannya melalui flokulasi atau pengikatan Al ke tapak pertukaran bermuatan negatif (Khoi, Guong, Trung, & Nilsson, 2010). Oleh karena pemberian pupuk organik sangat penting dalam mengatasi kejenuhan Al dalam tanah yang tinggi. Seperti halnya pH, pemberian arang juga tidak berhasil menurunkan Al-dd media tanam setelah pembenihan, hal ini juga menunjukkan bahwa arang sekam padi memiliki pengaruh pengapuran yang bersifat sementara (jangka pendek).

## KESIMPULAN

Pemberian amelioran berupa pupuk organik 10% tanpa pupuk P dapat meningkatkan tinggi benih sebesar 23,3%, dan meningkatkan serapan P, Ca, dan Mg dalam tajuk masing-masing sebesar 254%, 431%, dan 300%. Sementara amelioran berupa pupuk organik 10% tanpa inokulan meningkatkan jumlah daun sebesar 49,6% dan bobot kering tajuk sebesar 67,2%. Pemberian amelioran berupa arang sekam padi 4% dikombinasikan dengan pupuk organik 10% yang ditambah mikrob pelarut fosfat (MPF) berupa inokulan *Burkholderia ambifaria* (BPF) atau *Aspergillus niger* (FPF) meningkatkan jumlah daun masing-masing sebesar 77,9% dan 69%, serta meningkatkan bobot kering tajuk masing-masing sebesar 93,6% dan 101,9%. Aplikasi amelioran berupa arang sekam padi secara tunggal meningkatkan aktivitas fosfatase asam pada media tanam, sedangkan pemberian amelioran berupa pupuk organik secara tunggal meningkatkan pH, aktivitas fosfatase asam, dan P tersedia serta menurunkan Al-dd dalam media tanam. Pemberian amelioran dikombinasikan dengan MPF dapat mengurangi kebutuhan pupuk P, memacu pertumbuhan tanaman dan memperbaiki sifat tanah sehingga mendukung sistem budidaya tanaman yang ramah lingkungan di tanah masam.

Pemberian pupuk berupa fosfat alam (FA) pada media tanpa pupuk organik meningkatkan bobot kering tajuk dan bobot kering akar benih kakao, serta serapan P, Ca, dan Mg dalam tajuk secara linier sejalan dengan peningkatan dosis FA hingga 400 mg P/kg. Pemberian pupuk berupa FA meningkatkan kadar P tersedia dan menurunkan Al-dd dalam media tanam secara linier sejalan dengan peningkatan dosis FA.

## KONTRIBUSI PENULIS

1. Kurnia Dewi Sasmita (kontributor utama)
2. Iswandi Anas (kontributor anaggota)
3. Syaiful Anwar (kontributor anggota)
4. Sudirman Yahya (kontributor anggota)
5. Gunawan Djajakirana (kontributor anggota)

## DAFTAR PUSTAKA

- Adhya, T. K., Kumar, N., Reddy, G., Podile, A. R., Bee, H., & Samantaray, B. (2015). Microbial mobilization of soil phosphorus and sustainable P management in agricultural soils. *Current Science*, 108(7), 1280–1287.
- Akça, M. O., & Namlı, A. (2015). Effects of poultry litter biochar on soil enzyme activities and tomato, pepper and lettuce plants growth. *Eurasian J Soil Sci*, 4(3), 161–168.
- Awais, M., Tariq, M., Ali, A., Ali, Q., Khan, A., Tabassum, B., Husnain, T. (2017). Isolation, characterization and inter-relationship of phosphate solubilizing bacteria from the rhizosphere of sugarcane and rice. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 11, 312–321.
- Baligar, V. C., & Fageria, N. K. (2005). Soil aluminum effects on growth and nutrition of cacao. *Soil Sci. Plant Nutr*, 51(5), 709–713.
- Castro-gonzález, R., Martínez-aguilar, L., Ramírez-trujillo, A., los Santos, P. E., & Caballero-Mellado, J. (2011). High diversity of culturable *Burkholderia* species associated with sugarcane. *Plant Soil*. <https://doi.org/10.1007/s11104-011-0768-0>
- Ch'ng, H. Y., Ahmed, O. H., & Majid, N. M. A. (2014). Improving phosphorus availability in an acid soil using organic amendments produced from agroindustrial wastes. *The Scientific World Journal*, 2014, 6 p. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1155/2014/506356>
- Chen, J., Wu, J., & Huang, W. (2001). *Effects of compost on the availability of nitrogen and phosphorus in strongly acidic soils*. FFTC.
- Cui, H.J., Wang, M.K., Fu, M.L., & Ci, E. (2011). Enhancing phosphorus availability in phosphorus-fertilized zones by reducing phosphate adsorbed on ferrihydrite using rice straw-derived biochar. *J Soils Sediments*. 11(7):1135-1141.
- de Aquino, S. T. M., dos Santos, R. F., & Batista, K. D. (2019). Nutritional deficiency symptoms of young 'cedro doce' plants grown under macronutrient omission. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 23(4), 264–270. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n4p264-270>
- Djuniwati, S., Nugroho, B., & Pulunggono, H. B. (2012). *The changes of P-fractions and solubility of phosphate rock in ultisol treated by organic matter and phosphate rock*. 17(3), 203–210. <https://doi.org/10.5400/jts.2012.17.3.203>
- Hale, L. E. (2014). *Biochar and plant growth promoting rhizobacteria as soil amendments*. Electronic Theses and Dissertations UC Riverside.
- Khoi, C. M., Guong, V. T., Trung, P. N. M., & Nilsson, S. I. (2010). Effects of compost and lime amendment on soil acidity and N availability in acid sulfate soil. *World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World*, (1-6 August), 52–55.
- Li, Y., Hwang, S., Huang, Y., & Huang, C. (2018). Effects of *Trichoderma asperellum* on nutrient uptake and Fusarium wilt of tomato. *Crop Protection*, 110, 275–282. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2017.03.021>
- Liu, C. H., Liu, Y., Fan, C., & Kuang, S. Z. (2013). The effects of composted pineapple residue return on soil properties and the growth and yield of pineapple. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 13(2), 433–444.
- Liu, X.-H., & Zhang, X.-C. (2012). Effect of biochar on pH of alkaline soils in the loess plateau: results from incubation experiments. *International Journal of Agriculture & Biology*, 14(5), 745–750.
- Margesin, R. (1996). Acid and alkaline phosphomonoesterase activity with the substrate p-nitrophenyl phosphate. In F. Schinner, R. Öhlinger, E. Kandeler, & M. R (Eds.), *Methods in Soil Biology* (pp. 213–215). Berlin, DE: Springer Press.
- Marschner, H. (1993). *Mineral nutrition of higher plants*. London, GB: Academic Press Inc.
- Nath, D., Maurya, B. R., & Vijay, S. M. (2017). Documentation of five potassium- and phosphorus-solubilizing bacteria for their K and P-solubilization ability from various minerals. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 10, 174–181.
- Nenwani, V., Doshi, P., Saha, T., & Rajkumar, S. (2010). Isolation and characterization of a fungal isolate for phosphate solubilization and plant growth promoting activity. *Journal of Yeast and Fungal Research*, 1(1), 009–014.
- Opala, P. A., Okalebo, J. R., & Othieno, C. O. (2012). Effects of organic and inorganic materials on soil acidity and phosphorus availability in a soil incubation study. *ISRN Agronomy*, 2012, 10 p. <https://doi.org/10.5402/2012/597216>
- Parani, K., & Saha, B. K. (2012). Prospects of using phosphate solubilizing pseudomonas as bio fertilizer. *European Journal of Biological Sciences*, 4(2), 40–44. <https://doi.org/10.5829/idosi.ejbs.2012.4.2.63117>

- Parvage, M. M., Ullén, B., Eriksson, J., Strock, J., & Kirchmann, H. (2013). Phosphorus availability in soils amended with wheat residue char. *Biology and Fertility of Soils*, 49(2), 245–250. <https://doi.org/10.1007/s00374-012-0746-6>
- Rahardjo, P. (2011). *Menghasilkan benih dan bibit kakao unggul*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Sasmita, K. D., Anas, I., Anwar, S., Yahya, S., & Djajakirana, G. (2017). Application of biochar and organic fertilizer on acid soil as growing medium for cocoa (*Theobroma cacao* L.) seedlings. *International Journal of Sciences: Basic and Applied Research*, 36(5), 261–273.
- Sasmita, K. D., Anwar, S., Yahya, S., & Djajakirana, G. (2017). Pengaruh pupuk organik dan arang hayati terhadap kualitas media pembibitan dan pertumbuhan kakao. *Jurnal Tanaman Industri dan Penyegar*, 4(2), 107–120.
- Shen, J., Yuan, L., Zhang, J., Li, H., Bai, Z., Chen, X., ... Zhang, F. (2011). Phosphorus Dynamics : From Soil to Plant 1. *Plant Physiology*, 156, 997–1005. <https://doi.org/10.1104/pp.111.175232>
- Suparno, A. (2008). *Tanggap morfofisiologi bibit kakao yang diberi Fosfat Alam Ayamuru Papua, asam humat, inokulasi FMA, dan bakteri pelarut fosfat*. (Disertasi, Institut Pertanian Bogor).
- Swaine, M., Obriake, R., Clark, J. M., & Shaw, L. J. (2013). Biochar alteration of the sorption of substrates and products in Soil Enzyme Assays. *Applied and Environmental Soil Science*, 2013, 5p. <https://doi.org/10.1155/2013/968682>
- Takeda, M., Nakamoto, T., Miyazawa, K., Murayama, T., & Okada, H. (2009). Phosphorus availability and soil biological activity in an Andosol under compost application and winter cover cropping. *Applied Soil Ecology*, 42, 86–95. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2009.02.003>
- Trupiano, D., Coccozza, C., Baronti, S., Amendola, C., Vaccari, F. P., Lustrato, G., ... Scippa, G. S. (2017). The effects of biochar and its combination with compost on lettuce (*Lactuca sativa* L.) growth, soil properties, and soil microbial activity and abundance. *International Journal of Agronomy*, 2017, 12p.
- Wessel, M. (1985). Shade and nutrition. In G. A. R. Wood & R. A. Las (Eds.), *Cocoa* (pp. 166–194). London, GB: Longman Group Ltd.
- Whitelaw, M. A., Harden, T. J., & Helyar, K. R. (1999). Phosphate solubilisation in solution culture by the soil fungus *Penicillium radicum*. *Soil Biology and Biochemistry*, 31, 655–665.
- Wong, M. T. F., & Swift, R. S. (2001). Application of fresh and humified organic matter to ameliorate soil acidity. In R. S. S. and K. M. Spark (Ed.), *Understanding and Managing Organic Matter in Soils, Sediments, and Waters*.
- Yuan, J., Huang, L., Zhou, N., Wang, H., & Niu, G. (2017). Fractionation of inorganic phosphorus and aluminum in red acidic soil and the growth of *Camellia oleifera*. *HortScience*, 52(9), 1293–1297. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI12189-17>
- Zhao, K., Penttinen, P., Zhang, X., Ao, X., Liu, M., Yu, X., & Chen, Q. (2014). Maize rhizosphere in Sichuan, China, hosts plant growth promoting *Burkholderia cepacia* with phosphate solubilizing and antifungal. *Microbiological Research*, 169(1), 76–82. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2013.07.003>

