

Perubahan pH, Aluminium Dapat Tukar dan Fosfor Tersedia Ultisol karena Pemberian Pupuk Organik Batang Pisang dan Abu Terbang Batubara

Changes in pH, exchangable Aluminium and Available Phosphorus of Ultisol because of the Application of Banana Stem Liquid Organic Fertilizer and Coal Fly Ash

FAHRUNSYAH*, RABIATUL JANNAH, dan ANDI ALDI UTAMA

Program Studi Agroekoteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Mulawarman, Jalan Pasir Balengkong, Kampus Gunung Kelua, Samarinda 75119, Kalimantan Timur, Indonesia.

*Email: fahrunsyah@faperta.unmul.ac.id

Manuscript received: 5 Oktober 2022 Revision accepted: 22 April 2023

ABSTRACT

High acidity and solubility of aluminium (Al) and low phosphorus (P) availability are the main problems of Ultisol soil from the aspect of chemical characteristics in its utilization for crop cultivation. This study aims to determine: 1) The ability of Banana Stem Liquid Organic Fertilizer (BSLOP) and Coal Fly Ash (CFA) in increasing soil pH and P availability and reducing Al^{3+} solubility and 2) The best incubation time based on pH value, Al solubility and P-availability. The research was conducted in a greenhouse using the incubation method without plants. The study consisted of 12 treatments and 3 replications (36 experimental units). The soil medium for incubation was Ultisol soil as much as 400 g air-dried equivalent to 385.6 g oven-dried soil, which was put into a pot with a diameter of 8 cm and a height of 10 cm. The incubation soil media that had been treated according to the dose was then watered to about field capacity and incubated for 9 weeks. Total of 12 composite soil samples were taken at 3, 6 and 9 weeks after incubation (WAI) for analysis. The parameters measured were pH (H_2O), Al^{3+} and P-available. The results of the soil analysis specifically for pH and P-available were then categorized according to the soil analysis assessment criteria of the Soil Research Center (SRC) Bogor 2005. The results of the study were as follows: 1) The application of BSLOP and ATB either independently or in combination both were able to increase pH and P-Available and decrease the solubility of Al^{3+} , 2) The application of a combination of 90 Mg ha^{-1} CFA and 420,000 L ha^{-1} BSLOP at 3 WAI increased pH 70.25% and P-Available 266.20% and decreased the solubility of Al^{3+} by 1,300% compared to the control and 3) The best incubation time for BSLOP and CFA was 3 weeks.

Key Word: Ultisol, Banana Stem Liquid Organic Fertilizer, Fly ash

ABSTRAK

Kemasaman dan kelarutan aluminium (Al) tinggi serta ketersediaan fosfor (P) rendah merupakan permasalahan utama tanah Ultisol dari aspek karakteristik kimiawi dalam pemanfaatannya untuk budidaya tanaman. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui: 1) Kemampuan Pupuk Organik Cair Batang Pisang (POCBP) dan Abu Terbang Batubara (ATB) dalam meningkatkan pH tanah dan ketersediaan P serta menurunkan kelarutan Al^{3+} dan 2) Waktu inkubasi yang terbaik didasarkan pada nilai pH, kelarutan Al dan P-Tersedia. Penelitian dilaksanakan di rumah kaca menggunakan metode inkubasi tanpa tanaman. Penelitian terdiri atas 12 perlakuan dan 3 ulangan (36 unit percobaan). Media tanah untuk inkubasi adalah tanah Ultisol sebanyak 400 g kering udara setara 385,6 g tanah kering oven, yang dimasukkan ke dalam pot berdiameter 8 cm dan tinggi 10 cm. Media tanah inkubasi yang sudah diberi perlakuan sesuai dosis selanjutnya disiram sampai sekitar kapasitas lapang dan diinkubasi selama 9 minggu. Sebanyak 12 contoh tanah komposit diambil pada 3, 6 dan 9 Minggu Setelah Inkubasi (MSI) untuk dianalisis. Parameter yang diukur adalah pH (H_2O), Al^{3+} dan P-Tersedia. Hasil analisis tanah tersebut khusus untuk pH dan P-Tersedia kemudian dikategorikan menurut kriteria penilaian analisis tanah Pusat Penelitian Tanah (PPT) Bogor 2005. Hasil penelitian sebagai berikut: 1) Pemberian POCBP dan ATB baik secara mandiri maupun kombinasi keduanya mampu meningkatkan pH dan P-Tersedia serta menurunkan kelarutan Al^{3+} , 2) Pemberian kombinasi 90 Mg ha^{-1} ATB dan 420.000 L ha^{-1} POCBP pada 3 MSI meningkatkan pH 70,25% dan P-Tersedia 266,20% dan menurunkan kelarutan Al^{3+} sebesar 1.300% dibandingkan kontrol dan 3) Waktu inkubasi yang paling baik untuk POCBP dan ATB adalah 3 minggu.

Kata kunci: Ultisol, Pupuk Cair Batang Pisang, Abu Terbang Batubara

PENDAHULUAN

Ultisol merupakan salah satu tanah mineral masam yang mempunyai sebaran luas. Luas tanah tersebut di Indonesia adalah 45,794 juta ha atau sekitar 25% dari luas total daratan Indonesia. Walaupun dari sisi luasannya sangat potensial untuk pengembangan pertanian, namun tanah ini mempunyai karakteristik sifat kimia, fisika dan biologi yang kurang mendukung untuk pertumbuhan dan produksi tanaman. Kemasaman dan kelarutan aluminium (Al) tinggi serta ketersediaan fosfor (P) rendah merupakan permasalahan utama tanah Ultisol dari aspek karakteristik kimiawi dalam pemanfaatannya untuk budidaya tanaman.

Banyak penelitian terdahulu membuktikan penggunaan bahan organik mampu mengatasi permasalahan tersebut. Pemberian kompos tandan kosong kelapa sawit (KTKKS) dengan dosis 20 Mg ha⁻¹ mampu meningkatkan pH dan P-Tersedia masing-masing 8,96 dan 206,22% serta menurunkan kelarutan Al sebesar 18,98 % (Fahrunsyah, 2019). Pemberian kompos meningkatkan kandungan Ca²⁺ di dalam larutan tanah sehingga dapat menggantikan Al³⁺ dan H⁺ serta mengendapkan Al³⁺ menjadi kompleks Al tidak larut sehingga pH tanah meningkat (Farrel *et al.*, 2010). Dekomposisi KTKKS menghasilkan asam-asam organik seperti asam humat, asam fulfat, asam laktat, asam asetat dan asam oksalat. Asam-asam organik tersebut mempunyai kemampuan yang tinggi untuk mengkhelat logam seperti Al, Fe dan Mn sehingga akan mengurangi aktivitas logam tersebut dalam menyerap P dan meningkatkan ketersediaan P (Haynes & Mokolobate 2001). Ditambahkan Ifansyah *et al.* (2013), asam humat dapat meningkatkan pH dan menurunkan kelarutan Al sehingga meningkatkan ketersediaan P.

Salah satu yang berpotensi sebagai bahan pembuatan kompos adalah pisang (*Musa paradisiaca*) baik dalam bentuk padat maupun cair. Potensi tersebut selain disebabkan ketersediaannya yang melimpah juga karena batang pohon pisang banyak mengandung unsur hara seperti N, P dan K yang dibutuhkan tanaman. Pupuk Organik Cair Batang Pisang (POCBP) merupakan salah satu jenis pupuk organik batang pisang yang banyak digunakan untuk meningkatkan kesuburan. Pupuk organik cair (POC) adalah pupuk yang berasal dari hewan atau tumbuhan yang sudah mengalami fermentasi berupa cairan. Penggunaan POC mempunyai keunggulan dibandingkan dengan pupuk organik padat, yaitu pengaplikasiannya lebih mudah, mampu menyediakan hara secara cepat sehingga mudah diserap tanaman, banyak mengandung mikroorganisme, proses pembuatannya lebih cepat dan pengaplikasiannya lebih cepat melalui penyemprotan ke tanaman.

Disamping bahan organik, penggunaan Abu Terbang Batubara (ATB) sebagai pembenah tanah merupakan alternatif lain yang dapat dimanfaatkan untuk memperbaiki kesuburan tanah Ultisol. Abu Terbang Batubara yang merupakan sisa pembakaran batubara di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) sangat kaya unsur hara makro dan mikro. Basu *et al.*, (2009) menyatakan bahwa ATB mengandung unsur hara makro esensial seperti P, K, Ca, Mg dan S serta unsur hara mikro seperti Fe, Mn, Zn, Cu, Co, B, Pb, Cd dan Mo. Gupta *et al.* (2012) melaporkan bahwa ATB terdiri atas 95–99% oksida Si, Al, Fe dan Ca serta 0,5–3,5% Na, P, K, S dan unsur mikro. Selain lengkapnya unsur hara pada ATB, penggunaan bahan ini untuk meningkatkan produktivitas tanah juga didukung banyaknya ketersediaannya secara lokal dan dianggap sebagai limbah.

Berkaitan dengan kemampuan kedua bahan dalam meningkatkan kesuburan tanah maka dilakukan penelitian dengan mengkombinasikan POCP dan ATB pada tanah Ultisol untuk mengetahui: 1) Kemampuan POCP dan ATB dalam meningkatkan pH tanah dan ketersediaan P serta menurunkan kelarutan Al³⁺ dan 2) Waktu inkubasi yang terbaik didasarkan pada nilai pH, kelarutan Al dan P-Tersedia.

BAHAN DAN METODE

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas sampel tanah Ultisol pada kedalaman 0–30 cm, diambil dari Desa Bendang Raya Kecamatan Tenggarong, POCP (yang dibuat dari batang pisang) dan ATB yang diperoleh dari PLTU PT. Cahaya Fajar Kaltim di Desa Tanjung Batu Kecamatan Tenggarong.

Penelitian yang dilaksanakan di Rumah Kaca Fakultas Pertanian Universitas Mulawarman ini menggunakan metode inkubasi, yaitu pemberian perlakuan pada tanah tanpa tanaman. Pada penelitian ini ada 12 perlakuan yang masing-masing diulang 3 (tiga) kali sehingga unit percobaan sebanyak 36 pot. Selama penelitian dilakukan tiga kali pengambilan sampel tanah yaitu 3, 6 dan 9 Minggu Setelah Inkubasi (MSI). Tanah sisa pengambilan contoh tanah tidak digunakan lagi untuk mengambil contoh tanah pada tiga minggu berikutnya, sehingga untuk pengambilan tiga kali contoh tanah digunakan 3 x 36 pot = 108 pot percobaan. Adapun perlakuan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Perlakuan penelitian

Kode Perlakuan	Perlakuan
p ₀	0 (Kontrol)
p ₁	210.000 L ha ⁻¹ POCP
p ₂	420.000 L ha ⁻¹ POCP
p ₃	30 Mg ha ⁻¹ ATB
p ₄	60 Mg ha ⁻¹ ATB
p ₅	90 Mg ha ⁻¹ ATB

p ₆	30 Mg ha ⁻¹ ATB + 210.000 L ha ⁻¹ POCBP
p ₇	60 Mg ha ⁻¹ ATB + 210.000 L ha ⁻¹ POCBP
p ₈	90 Mg ha ⁻¹ ATB + 210.000 L ha ⁻¹ POCBP
p ₉	30 Mg ha ⁻¹ ATB + 420.000 L ha ⁻¹ POCBP
p ₁₀	60 Mg ha ⁻¹ ATB + 420.000 L ha ⁻¹ POCBP
P11	90 Mg ha ⁻¹ ATB + 420.000 L ha ⁻¹ POCBP

Tanah yang digunakan sebagai media dalam penelitian ini dikeringudarkan, dibersihkan dan disaring dengan menggunakan ayakan lolos butir < 2 mm. Untuk mengetahui karakteristik tanah yang digunakan sebagai media tanam dilakukan analisis sampel tanah. Analisis awal sampel tanah tersebut meliputi: 1) pH H₂O menggunakan pH meter, P-total menggunakan HCl 25%, P-tersedia untuk Ultisol dan POCBP menggunakan Bray1, P-tersedia untuk ATB menggunakan metode Olsen, kation basa dapat tukar (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ dan Na⁺) menggunakan NH₄OAc dan kation masam (Al³⁺ dan H⁺) menggunakan KCl 1 N.

Tanah yang digunakan sebagai media inkubasi ditimbang sebanyak 400 g kering udara setara dengan 385,6 g tanah kering oven dan dimasukkan ke dalam pot yang berdiameter 8 cm dan tinggi 10 cm, selanjutnya POCBP dan ATB diberikan pada masing-masing pot sesuai dengan dosis perlakuannya. Kemudian pot tersebut disusun sesuai hasil pengacakan, dan selanjutnya disiram sampai sekitar Kapasitas Lapang (KL). Tanah yang sudah diberi perlakuan tersebut kemudian diinkubasi selama 9 minggu. Untuk menjaga kelembapan tanah selama masa inkubasi, maka dilakukan penyiraman. Penyiraman dilakukan pada saat kadar air tanah mencapai sekitar 80% KL. Pemberian air saat penyiraman sampai mencapai sekitar KL. Untuk menentukan volume pemberian air dilakukan melalui penimbangan.

Untuk keperluan analisis setelah pemberian perlakuan, diambil contoh tanah pada masing-masing pot. Contoh tanah dari ulangan (1, 2 dan 3) masing-masing dicampur kemudian diambil satu contoh tanah komposit sehingga diperoleh 12 sampel tanah komposit.

Parameter yang dianalisis pada setiap periode pengambilan contoh tanah yaitu 3, 6 dan 9 Minggu Setelah Tanam (MSI) adalah pH, Al³⁺ dan P-tersedia menggunakan metode analisis sama seperti analisis awal. Hasil analisis tanah tersebut khusus untuk pH dan P-tersedia kemudian dikategorikan menurut kriteria penilaian analisis tanah Pusat Penelitian Tanah (PPT) Bogor 2005.

HASIL DAN DISKUSI

Hasil analisis awal tanah Ultisol, POCBP dan ATB disajikan pada Tabel 1. Tanah Ultisol yang dipergunakan dalam penelitian ini mempunyai pH tergolong masam, P-Total tergolong sangat tinggi, namun P-Tersedia tergolong sangat rendah dan kompleks pertukaran didominasi kation masam yaitu Al³⁺ dan H⁺. Data hasil analisis tanah Ultisol tersebut memberikan gambaran mengenai karakteristik tanah yang telah mengalami pencucian yang intensif dicirikan dengan nilai pH yang rendah, kandungan Al³⁺ dan H⁺ tinggi dan sebaliknya kation basa seperti Ca²⁺, Mg²⁺ & K⁺ yang terbatas bahkan untuk Na⁺ tidak terdeteksi. Tingginya kelarutan Al³⁺ menjadi penyebab terbatasnya ketersediaan P walaupun secara total P berada dalam jumlah sangat tinggi. Menurut Liao *et al.* (2006), tingginya kelarutan Al berpengaruh terhadap fiksasi P sehingga ketersediaan P rendah.

Pupuk Organik Cair Batang Pisang (POCBP) mempunyai pH tergolong sangat masam. Tingginya kemasaman ini diduga disebabkan keberadaan asam-asam organik di dalam POCBP. P-Total dan P-Tersedia tergolong sangat rendah, namun nilai P-Tersedia tersebut lebih tinggi hampir tiga kali lipat dari P-tersedia pada tanah Ultisol. Kelarutan Al³⁺ sebesar 3,4 meq 100⁻¹ memang lebih tinggi daripada ATB, namun hampir dua kali lipat lebih rendah dibandingkan pada tanah Ultisol.

Nilai pH ATB yang digunakan pada penelitian ini adalah 11,85 tergolong alkalis. Tingginya pH ATB ini disebabkan tingginya Ca²⁺ yang terdapat pada ATB. Berlawanan dengan Ca²⁺ yang sangat tinggi, Al³⁺ tidak terdeteksi, hal ini disebabkan pada pH ≥ 5,5 Al berada dalam bentuk oksida atau hidroksida sehingga tidak aktif dalam proses pengikatan P. Pada kondisi demikian, ketersediaan P meningkat sehingga tergolong sangat tinggi.

Tabel 1. Karakteristik contoh tanah Ultisol, POCBP dan ATB

Parameter	Satuan	Ultisol		POCBP		ATB	
		Nilai	Status	Nilai	Status	Nilai	Status
pH (H ₂ O)	-	4,61	M	3,94	SM	11,85	A
P-Total	(%)	0,12	ST	0,01	SR	0,52	ST
P-Tersedia (Bray I)	(mg kg ⁻¹)	2,68	SR	7,80	SR	-	-
P- Tersedia (Olsen)	(mg kg ⁻¹)	-	-	-	-	134,70	ST
Al ³⁺	(meq 100 g ⁻¹)	6,20	-	3,4	-	0,00	-
H ⁺	(meq 100 g ⁻¹)	4,80	-	-	-	-	-

Ca ⁺⁺	(meq 100 g ⁻¹)	0,78	SR	0,07	SR	34,61	ST
Mg ⁺	(meq 100 g ⁻¹)	1,29	S	-	-	1,89	S
K ⁺	(meq 100 g ⁻¹)	0,10	R	-	-	0,28	R
Na ⁺	(meq 100 g ⁻¹)	0,00	-	-	-	0,61	S

Keterangan : SM = Sangat masam, M = Masam, A = Alkalis, SR = Sangat Rendah, R = Rendah, S = Sedang, dan ST = Sangat Tinggi

Pemberian POCBP (p₁ dan p₂) mampu meningkatkan pH (H₂O) pada setiap waktu pengamatan. Pada 3 MSI, perlakuan p₁ dan p₂ masing-masing meningkatkan 0,06 dan 0,31 unit pH atau masing-masing meningkatkan pH 1,24 dan 6,40% dibandingkan dengan kontrol. Pemberian bahan organik pada tanah masam yang didominasi Al meningkatkan pH tanah disebabkan perombakan bahan organik membentuk khelat (senyawa kompleks) sehingga Al tidak terhidrolisis (Farrel *et al.* 2010). Pemberian ATB mampu meningkatkan pH (H₂O) Ultisol, peningkatan itu semakin besar seiring dengan meningkatnya dosis ATB. Hal ini disebabkan ATB bersifat alkali sehingga mampu menyumbang banyak ion OH⁻ dan dapat dianggap sebagai agen pengapuran yang berfungsi sebagai penyangga pH tanah. Sifat alkali dari ATB karena bahan pembenah ini banyak mengandung kation basa, khususnya Ca²⁺ dan Mg²⁺. Hasil penelitian Fahrurnsyah *et al.* (2018) mendapatkan bahwa ATB mengandung 28,45 cmol kg⁻¹ Ca²⁺ dan 3,25 cmol kg⁻¹ Mg²⁺. Menurut kriteria Pusat Penelitian Tanah (2005), kandungan Ca²⁺ dan Mg⁺ pada ATB tersebut masing-masing tergolong sangat tinggi dan tinggi. Pemberian ATB tanpa POCBP pada 3 MSI menyebabkan kenaikan nilai pH masing-masing 1,82 unit pH (p₃), 2,11 unit pH (p₄) dan 3,13 unit pH (p₅) dibandingkan kontrol sehingga menyebabkan perubahan status pH dari masam menjadi netral pada p₃ dan p₄ serta agak alkalis pada p₅.

Kombinasi pemberian POCBP dan ATB menghasilkan peningkatan pH lebih tinggi dibandingkan perlakuan tanpa ATB atau tanpa POCBP. Nilai pH tertinggi diperoleh pada p₁₁ pada semua waktu pengamatan. Hal ini disebabkan kombinasi kedua bahan tersebut memberikan sinergi dalam meningkatkan pH, yaitu ATB melalui tingginya keberadaan kation basa seperti Ca²⁺ dan Mg²⁺, sedangkan POCBP melalui terbentuknya khelat terhadap logam (Al³⁺) yang berkontribusi terhadap kenaikan pH. Peningkatan pH tanah masam karena pemberian ATB karena CO₂ bereaksi lebih reaktif dengan CaO menghasilkan CaCO₃ sehingga pH tanah cenderung untuk menjadi netral Pathan *et al.* (2003). Disisi lain aplikasi POCBP meningkatkan pH tanah karena asam-asam organik hasil dekomposisi bahan organik menghasilkan reaksi pertukaran ligan antara anion-anion organik terhadap OH bebas pada daerah pertukaran yang berpengaruh pada pada ion OH pada Larutan Tanah (Hue & Amien, 1989)

Secara keseluruhan perlakuan kombinasi POCBP dan ATB memberikan peningkatan pH sangat signifikan yang pada umumnya tergolong agak alkalis dan lainnya netral. Namun demikian ada kecenderungan nilai pH pada seluruh perlakuan menurun seiring dengan meningkatnya waktu inkubasi (Tabel 2).

Tabel 2. Perubahan pH (H₂O) karena pemberian POCBP dan ATB

Perlakuan	3 MSI		6 MSI		9 MSI	
	Nilai	Status	Nilai	Status	Nilai	Status
p ₀	4,84	M	4,88	M	4,53	M
p ₁	4,90	M	5,06	M	4,77	M
p ₂	5,15	M	5,04	M	4,94	M
p ₃	6,66	N	6,77	N	6,68	N
p ₄	6,95	N	7,41	N	7,29	N
p ₅	7,97	AA	7,97	AA	7,79	AA
p ₆	6,83	N	7,03	N	6,68	N
p ₇	7,44	N	7,04	N	6,87	N
p ₈	7,75	AA	7,67	AA	7,46	N
p ₉	7,95	AA	7,69	AA	7,56	N
p ₁₀	8,13	AA	8,02	AA	7,85	AA
p ₁₁	8,24	AA	8,13	AA	7,89	AA

Keterangan : MSI = Minggu Setelah Inkubasi, M = Masam, AM = Agak Masam, N = Netral, AA = Agak Alkalis

Pemberian POCBP pada setiap waktu pengamatan (3,6 dan 9 MSI) cenderung menurunkan kelarutan Al-dd. Hal ini disebabkan POCBP sebagai pupuk organik banyak mempunyai asam-asam organik yang terbentuk dari dekomposisi senyawa organik yang banyak terdapat dalam batang pisang. Menurut Kusumawati (2015), batang pisang mengandung 29,7 % C-organik. Asam-asam organik mempunyai kemampuan membentuk khelat dengan unsur logam, diantaranya unsur Al di dalam tanah. Terbentuknya khelat menyebabkan kelarutan Al-dd menjadi berkurang.

Penambahan ATB baik dengan maupun tanpa pemberian POCBP sangat signifikan menurunkan Al³⁺. Hal ini disebabkan terjadinya kenaikan pH karena pemberian ATB. Pemberian ATB mampu meningkatkan pH menjadi netral dan agak alkalis sehingga terjadi perubahan bentuk Al dari semula dominan dalam bentuk Al-dd pada pH masam (<5,5)

menjadi bentuk oksida dan hidroksida pada pH netral. Seperti halnya pH, terjadi kecenderungan peningkatan Al^{3+} seiring dengan meningkatnya waktu pengamatan (Tabel 3).

Tabel 3. Perubahan Al^{3+} karena pemberian POCBP dan ATB

Perlakuan	3 MSI	6 MSI	9 MSI
p0	2,80	3,40	3,80
p1	2,60	3,34	3,80
p2	2,40	2,80	3,20
p3	0,20	0,20	0,20
p4	0,20	0,20	0,20
p5	0,20	0,20	0,20
p6	0,20	0,20	0,20
p7	0,20	0,20	0,20
p8	0,20	0,20	0,20
p9	0,20	0,20	0,20
p10	0,20	0,20	0,20
p11	0,20	0,20	0,20

Keterangan : MSI = Minggu Setelah Inkubasi, SR = Sangat Rendah

Pemberian POCBP mampu meningkatkan ketersediaan P menjadi sangat tinggi dibandingkan dengan kontrol yang berstatus rendah pada semua waktu pengamatan. Meningkatnya ketersediaan P karena menurunnya kelarutan Al^{2+} sehingga P yang sebelumnya terikat oleh Al menjadi tersedia. Keberadaan bahan organik sangat diperlukan karena dapat berfungsi untuk mengkhelat Al sehingga dapat mengurangi kelarutan Al (Herviyanti *et al.*, 2012).

Selain itu terjadinya peningkatan P-tersedia karena POCBP mengandung banyak unsur hara termasuk P, sehingga ketika terjadi dekomposisi dihasilkan unsur hara yang tersedia untuk tanaman. Beberapa penelitian sebelumnya mendapatkan kandungan P pada POCBP yaitu 0,001% (Wardati Sari & Alfianita, 2018), 0,289% (Putri 2018), 511,30 mg kg-1 (Budiyani *et al.*, 2016) dan 439 ppm (Suhastyo, 2011).

Meningkatnya P-tersedia pada pemberian POCBP juga disebabkan adanya bakteri pelarut P yang terdapat pada POCBP. Bakteri pelarut P mempunyai kemampuan mengubah P tidak larut menjadi P-tersedia melalui sekresi asam-asam organik seperti asam format, laktat, glikolat, propionat, asetat, fumarat dan sukcinat. Menurut Wardati Sari & Alfianita, (2018), bakteri pelarut fosfat yang berfungsi untuk membantu melarutkan fosfat dalam bahan organik sehingga dihasilkan kadar P yang tinggi. Pemberian ATB pada tanah Ultisol mampu meningkatkan ketersediaan P sehingga tanah Ultisol yang sebelumnya tergolong dalam status rendah menjadi sangat tinggi ketika diberi ATB. Peningkatan itu semakin besar dengan semakin besarnya dosis ATB. Nilai P-tersedia pada perlakuan ATB tertinggi diperoleh pada p5 pada 3 MSI yaitu 32,41 ppm meningkat 200,09% dibandingkan kontrol. Sangat besarnya peningkatan ketersediaan P disebabkan terjadinya peningkatan pH yang berpengaruh pada makin rendahnya kelarutan Al^{3+} sehingga P yang tadinya terikat pada Al^{3+} menjadi terlepas dari Al^{3+} sehingga menjadi bentuk P yang tersedia. Aktivitas Al dalam mengikat P terjadi ketika pH <5,5 karena pH tersebut Al berada dalam bentuk Al^{3+} , ketika pH meningkat menjadi $\geq 5,5$, maka Al berada dalam bentuk oksida atau hidroksida (mengendap) sehingga tidak aktif dalam proses pengikatan P Selain peningkatan ketersediaan P karena ATB mengandung banyak P.

Kombinasi pemberian POCBP dan ATB menghasilkan ketersediaan P lebih tinggi dibandingkan pemberian POCBP atau ATB saja. Hal ini disebabkan kedua bahan tersebut mempunyai kemampuan dalam menghasilkan P-tersedia. POCBP melalui dekomposisi dari asam-asam organik yang menghasilkan unsur hara dan peran dari asam-asam organik dalam mengkhelat Al^{3+} sehingga P menjadi tersedia, sedangkan ATB melalui mekanisme peningkatan pH yang menyebabkan Al^{3+} berubah bentuk menjadi oksida dan hidroksida sehingga tidak aktif dalam proses pengikatan P serta adanya kandungan P yang tinggi dalam ATB.

Seperti halnya pH dan Al^{3+} , ketersediaan P seiring dengan waktu inkubasi yang makin meningkat cenderung mengalami penurunan. Berdasarkan hal itu waktu pemberian POCBP maupun ATB yang terbaik adalah 3 MSI. Hal ini berarti jika POCBP dan ATB ingin diaplikasikan pada tanaman maka pemberian kedua bahan tersebut sebaiknya dilakukan 3 minggu sebelum tanam.

Tabel 4. Perubahan P-tersedia (mg kg⁻¹) karena pemberian POCBP dan ATB

Perlakuan	3 MSI		6 MSI		9 MSI	
	Nilai	Status	Nilai	Status	Nilai	Status
p0	10,8	R	9,87	R	9,69	R
p1	24,14	ST	23,95	ST	23,78	ST
p2	25,41	ST	24,71	ST	24,24	ST
p3	25,33	ST	25,41	ST	22,40	ST
p4	28,33	ST	27,32	ST	25,58	ST
p5	32,41	ST	32,31	ST	28,12	ST

p ₆	29,69	ST	25,41	ST	27,32	ST
p ₇	30,05	ST	27,32	ST	27,95	ST
p ₈	35,33	ST	34,64	ST	29,86	ST
p ₉	36,33	ST	36,21	ST	36,20	ST
p ₁₀	37,96	ST	36,49	ST	36,86	ST
p ₁₁	39,55	ST	38,31	ST	37,58	ST

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah di paparkan dapat disimpulkan bahwa:

1. Pemberian POCBP dan ATB baik secara mandiri maupun kombinasi keduanya mampu meningkatkan pH dan P-tersedia serta menurunkan kelarutan Al³⁺
2. Pemberian kombinasi 90 Mg ha⁻¹ ATB dan 420.000 L ha⁻¹ POCBP pada 3 Minggu Setelah Inkubasi memberikan peningkatan pH dan P-tersedia masing-masing 70,25 dan 266,20%, sebaliknya mampu menurunkan kelarutan Al³⁺ sebesar 1.300% dibandingkan kontrol
3. Waktu inkubasi yang paling baik untuk POCBP dan ATB adalah 3 minggu.

DAFTAR PUSTAKA

- Basu, M., Pande, M., Bhadoria, P. B. S., & Mahapatra, S. C. (2009). Potential fly-ash utilization in agriculture: A global review. In *Progress in Natural Science* (Vol. 19, Issue 10, pp. 1173–1186). Science Press.
- Budiyani, N. K., Soniari, N. N., & Sutari, N. W. S. (2016). Analisis Kualitas Larutan Mikroorganisme Lokal (MOL) Bonggol Pisang. *Agroekoteknologi Tropika*, 5(1), 63–72.
- Fahrunsyah, Kusuma, Z., Prasetya, B., & Handayanto, E. (2018). Improvement of some chemical properties of an Ultisol of East Kalimantan through application of combined coal fly ash and oil palm empty fruit bunch. *Bioscience Research*, 15(3), 1805–1815.
- Fahrunsyah. 2019. Peningkatan ketersediaan fosfor pada Ultisol dengan menggunakan abu terbang batubara dan kompos tandan kosong kelapa sawit. [Disertasi]. Program Pasca Sarjana Doktor Ilmu Pertanian, Universitas Brawijaya, Malang. [Indonesia].
- Farrel M, Perkins WT, Hobbs PJ, Griffith GW, Jones DL. 2010. Migration of heavy metals in soil as influenced by compost amendments. *Journal of Environmental Pollution* 158: 55–64.
- Haynes, R.J. and M.S. Mokolobate. 2001. Amelioration of Al toxicity and deficiency in acid soil by additions of organic residues : A critical review of the phenomenon and the mechanisms involved. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 59 (1) : 47 – 63.
- Herviyanti, Ahmad, F., Sofyani, R., Darmawan, Gusnidar, & Saidi, A. (2012). Pengaruh Pemberian Bahan Humat dari Ekstrak Batubara Muda (Subbituminus) dan Pupuk P terhadap Sifat Kimia Ultisol serta Produksi Tanaman Jagung (*Zea mays* L.). *Solum*, 9(1), 15–24.
- Hue, N. V., & Amien, I. (1989). Aluminum detoxification with green manures. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 20(15–16), 1499–1511.
- Ifansyah, H., Yani, J. A., 36 Banjarbaru, K., & Selatan, K. (2013). Soil pH and Solubility of Aluminum, Iron, and Phosphorus in Ultisols: the Roles of Humic Acid. *J Trop Soils*, 18(3), 203–208.
- Kusumawati, A. (2015). Analisa Karakteristik Pupuk Kompos Berbahan Batang Pisang. *Seminar Nasional Universitas PGRI Yogyakarta*, 323–328.
- Liao, H., Wan, H., Shaff, J., Wang, X., Yan, X., & Kochian, L. V. (2006). Phosphorus and aluminum interactions in soybean in relation to aluminum tolerance. Exudation of specific organic acids from different regions of the intact root system. *Plant Physiology*, 141(2), 674–684.
- Pathan, S. M., Aylmore, L. A. G., & Colmer, T. D. (2003). Properties of Several Fly Ash Materials in Relation to Use as Soil Amendments. *Journal of Environment Quality*, 32(2), 687.
- Putri NA. 2018. Pengaruh Lama Fermentasi Pupuk Organik Cair Kombinasi Batang Pisang, Kulit Pilat dan Buah Pare terhadap Uji Kandungan Unsur Hara Makro (P) dan Kalsium (Ca) Total dengan Penambahan Bioaktivator EM4. [Skripsi]. Universitas Sanata Dharma, Yogyakarta. [Indonesia].
- Suhastyo AA. 2011. Studi mikrobiologi dan sifat kimia mikroorganisme lokal (MOL) yang digunakan pada budidaya padi metode SRI. [Tesis]. Institut Pertanian Bogor, Bogor. [Indonesia].
- Wardati Sari, M., & Alfianita, S. (2018). Pemanfaatan Batang Pohon Pisang sebagai Pupuk Organik Cair dengan Aktivator EM4 dan Lama Fermentasi. *TEDC*, 12(2), 133–138.