

PENGARUH UKURAN PARTIKEL ABU VULKANIK DAN BATUAN FOSFAT PADA ANDISOL

(THE EFFECT OF PARTICLE SIZE OF VOLCANIC ASH AND PHOSPHATE ROCK IN ANDISOL)

Nur Azizah¹, Mahfud Arifin², dan Maya Damayani²

¹Program Sarjana Pertanian Universitas Padjadjaran

²Fakultas Pertanian Universitas Padjadjaran

Jl. Raya Jatinangor Km.21 Jatinangor, Sumedang-45363

email: nurazizahzhy12@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pemberian berbagai ukuran partikel abu vulkanik dan batuan fosfat, meliputi ukuran normal (2mm), mikron (200 μm) dan nano (400 nm) terhadap P tersedia, retensi P, delta pH dan luas daun bibit tanaman teh di Perkebunan Teh PTPN XII Ciater, Jawa Barat. Penelitian lapangan dilaksanakan pada Desember 2017 sampai Februari 2018. Analisis tanah dilakukan di Laboratorium Penguji Terpadu, Balai Penelitian Tanaman Sayuran, Lembang, Jawa Barat. Pembuatan partikel mikron dan nano abu vulkanik dan batuan fosfat dilakukan di Laboratorium Nanoteknologi dan Graphine, Fakultas MIPA, Universitas Padjadjaran dan di Puslitbang Tekmira, Bandung. Rancangan penelitian yang digunakan adalah Rancangan Acak Kelompok (RAK) yang terdiri atas 10 perlakuan kombinasi ukuran abu vulkanik dan batuan fosfat yang diulang sebanyak tiga kali. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa terdapat pengaruh nyata pemberian abu vulkanik dan batuan fosfat yang berukuran normal terhadap penurunan retensi P hingga 42,87%. Kombinasi perlakuan abu vulkanik berukuran normal dan batuan fosfat berukuran nano berpengaruh nyata terhadap total luas daun tanaman teh klon Gambung 7, tetapi tidak berpengaruh nyata terhadap P tersedia dan delta pH.

Kata kunci: *abu vulkanik, batuan fosfat, andisol*

Abstract

This study was aimed at determining the effect of various particle sizes of volcanic ash and phosphate rock, including normal size (2mm), micron (200 μm) and nano (400 nm) on available P, P retention, delta pH and leaf area of tea plant seeds in Ciater PTPN XII Tea Plantation, West Java. The study was carried out in December 2017 until February 2018. The soil analysis was carried out at the Integrated Testing Laboratory, Vegetable Crops Research Institute, Lembang, West Java. The manufacture of micron and nano volcanic ash and phosphate rock particles was carried out at the Nanotechnology and Graphine Laboratory, Mathematics and Science Faculty, Padjadjaran University and at Tekmira Research Center, Bandung. The research design used was a Randomized Block Design (RBD) consisting of 10 treatments of the combination of volcanic ash and phosphate rocks which were repeated three times. The results show that there is a significant effect of volcanic ash and phosphate rocks of normal size to a decrease in P retention of up to 42.87%. The combination of the treatment of normal-sized volcanic ash and nano-sized phosphate rocks has a significant effect on the total leaf area of the Gambung 7 clone plant, but it did not significantly affect the available P and delta pH.

Keywords: *volcanic ash, rock phosphate, andisol*

PENDAHULUAN

Di Indonesia terdapat sekitar 129 gunung api yang masih aktif atau 13% dari gunung api aktif di dunia (Sudrajat, 2009, p. 239). Hasil erupsi gunung api dapat berupa abu vulkanik, batuan lava, dan magma tersedimentasi yang merupakan bahan induk pembentuk tanah. Salah satu tanah yang terbentuk dari bahan volkan adalah Andisol. Andisol merupakan ordo tanah yang mempunyai sifat-sifat tanah andik dengan ciri memiliki kandungan C-organik sebesar 25% atau kurang; bobot isi sebesar 0,90 g/cc atau kurang; retensi P sebesar 85% atau lebih; kandungan $Al^{+1/2}Fe$ (yang ditetapkan dengan ammonium oksalat masam) sebesar 2,0% atau lebih; rasa licin bila dipirid dan banyak mengandung bahan amorf (Hardjowigeno, 2010; Soil Survey Staff, 2014). Andisol merupakan salah satu jenis tanah yang cukup subur, namun memiliki tingkat retensi P yang tinggi karena adanya mineral liat amorf seperti alofan, imogolit, ferihidrit dan oksida-oksida hidrat Al dan Fe dengan permukaan spesifik yang luas (Munir, 1996). Adanya kandungan mineral alofan, imogolit, ferihidrit atau kompleks alofan-humus ini maka tanah memiliki sifat fisika yang unik yaitu sifat *irreversible*, yakni jika kering tidak balik (Rachim & Arifin, 2011).

Andisol di Indonesia tersebar dengan luasan $\pm 5,836$ juta ha atau 3,4 % dari luas

daratan Indonesia (Puslittanak, 2001). Meskipun luasan Andisol tidak terlalu luas di Indonesia tetapi memiliki peran yang penting dalam pertanian karena merupakan salah satu tanah yang produktif terutama bagi tanaman hortikultura dan perkebunan seperti tanaman teh (*Camellia sinensis* (L.)).

Andisol merupakan tanah yang bermuatan variabel. Muatan variabel ini sangat bergantung pada pH. Jika kondisi pH masam maka tanah akan bermuatan positif sedangkan pada pH basa tanah akan bermuatan negatif. Tanah dengan muatan variabel dapat dilihat dari nilai delta pH ($pH_{H_2O} - pH_{KCl}$). Tanah dengan muatan variabel dapat diketahui dari nilai delta pH-nya, yakni antara ± 0.5 . Pada Andisol yang bermuatan variabel biasanya memiliki nilai delta pH yang mendekati negatif.

Tanaman teh (*Camellia sinensis* (L.)) merupakan salah satu tanaman perkebunan yang banyak ditanam di daerah pegunungan karena berasal dari daerah subtropis (Pusat Penelitian Teh dan Kina, 2006). Produktivitas teh di Indonesia mencapai sekitar 1900-2000 kg teh kering per hektar pada tahun 2008. Produktivitas teh ini semakin tahun semakin menurun sampai tahun 2013 hanya mencapai 1300-1700 kg teh kering per hektar (Direktorat Jendral Perkebunan, 2015). Salah satu penyebabnya yaitu keadaan tanah yang tidak mendukung pertumbuhan tanaman untuk menghasilkan

sehingga semakin lama produktivitas teh dapat menurun. Salah satu kendala yang dihadapi yaitu unsur P sedikit tersedia pada Andisol, karena terikat pada koloid tanah yang bersifat amorfus.

Pemberian pupuk anorganik P tidak dapat membantu ketersediaan P bagi tanaman karena unsur P yang diberikan diikat oleh gugus Al dan Fe. Pemberian silika (Si) dapat membantu pelepasan P yang terikat pada Al, Fe, dan Mn yang meretensi P melalui pemberian bahan amelioran abu vulkanik, batuan fosfat dan pupuk hayati (Sukmawati, 2011). Selain itu, anion silikat dapat menggantikan anion P yang terikat sehingga dapat tersedia bagi tanaman.

Abu vulkanik merupakan bahan amelioran yang berasal dari bahan mineral jatuhan yang disebarkan ke udara saat terjadinya letusan gunung api. Abu vulkanik yang mengandung SiO_2 sebanyak 52,8% termasuk ke dalam sifat andesit basalt (Devnita, Arifin, Hudaya, Setiawan, & Sandrawati, 2017). Abu vulkanik juga mengandung mineral yang cepat lapuk seperti gelas vulkan yang unsur utamanya Si. Kandungan gelas vulkan ini pada bahan vulkanik biasanya sebesar 50%. Selain itu, mengandung banyak labradorit, augit, bitownit, hiperstin, dan hornblende (Nurhasanah, 2011). Sudaryo dan Sutjipto (2009) menjelaskan bahwa abu vulkanik yang berasal dari gunung api memiliki kandungan

P tersedia berkisar dari rendah hingga tinggi (8-232 ppm P_2O_5) dan KTK ($1,77-7,10 \text{ cmol.kg}^{-1}$). Mineral yang terdapat pada abu vulkanik berpotensi sebagai penambah cadangan mineral tanah, memperkaya susunan kimia dan memperbaiki sifat fisik tanah (Alviandy, Ariani, & Saputra, 2016).

Batuan fosfat merupakan batuan yang tersusun dari mineral apatit yang terbentuk secara alami. Batuan fosfat lokal mengandung kadar P_2O_5 20-39% yang sebanding dengan superphosphate sehingga cocok sebagai pupuk yang ramah lingkungan (Sajimin, Panggabean, & Lugiyo 2001). Batuan fosfat diperlukan untuk menghambat retensi P dan menambah pasokan P dalam tanah (Maryanto & Ismangil, 2010).

Penggunaan pupuk berukuran nano (*nano fertilizer*) yang berukuran sangat kecil hingga $1\text{m}=10^{-9}$ memiliki keunggulan, yakni lebih reaktif, langsung mengenai sasaran atau target hal ini dikarenakan ukurannya yang sangat halus, dan memiliki luas permukaan yang besar, serta hanya dibutuhkan dalam jumlah yang sedikit (Widowati, Husnain, & Hartatik, 2012). Pemberian abu vulkanik dan batuan fosfat berukuran nano pada Andisol yang bermuatan variabel dapat meningkatkan delta pH dan menurunkan retensi P pada bulan pertama dan keempat inkubasi (Arifin, Yuniarti, & Dahliani, 2017).

Pengelolaan Andisol dengan pemberian bahan amelioran seperti abu vulkanik dan

batuan fosfat dengan berbagai ukuran partikel, seperti berukuran normal (2mm), mikron (200 μm) dan nano (400 nm), belum banyak dilakukan sehingga hal ini menarik untuk dikaji. Dengan demikian, melalui penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai pengaruh pemberian abu vulkanik dan batuan fosfat dengan yang berukuran partikel normal, mikron, dan nano pada bibit tanaman teh agar dapat diketahui pada ukuran berapa dari bahan amelioran tersebut yang paling efektif meningkatkan P-tersedia dan delta pH serta menurunkan retensi P dan pengaruhnya pada pertumbuhan luas daun tanaman teh. Dengan demikian, hasil penelitian ini diharapkan dapat mengatasi kendala pada Andisol khususnya di perkebunan teh Ciater, Subang, Jawa Barat sehingga dapat meningkatkan produktivitas tanaman teh.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di perkebunan PTPN XII Ciater dengan ketinggian 1250 meter di atas permukaan laut, pada bulan Desember 2017 sampai Februari 2018. Analisis tanah dilaksanakan di Laboratorium Pengujian Terpadu, Balai Penelitian Tanaman dan Sayuran, Lembang, Jawa Barat. Pembuatan partikel mikron dan nano abu vulkanik dan batuan fosfat dilakukan di Laboratorium Nanoteknologi dan Graphine, Fakultas MIPA, Universitas Padjadjaran

serta di Pusat Penelitian dan Pengembangan Mineral dan Batubara (Puslitbang Tekmira) Bandung.

Desain penelitian digunakan adalah Rancangan Acak Kelompok (RAK). Perlakuan yang diberikan terdiri dari sembilan perlakuan kombinasi partikel abu vulkanik dan batuan fosfat yang masing-masing berukuran normal (2 mm), mikron (200 μm), dan nano (400 nm), dan satu perlakuan kontrol sehingga total ada 10 perlakuan, yaitu A: kontrol (hanya pupuk dasar); B: abu vulkanik ukuran 2 mm + batuan fosfat ukuran 2 mm; C: abu vulkanik ukuran 2 mm + batuan fosfat ukuran 200 μm ; D: abu vulkanik ukuran 2 mm + batuan fosfat ukuran 400 nm ; E: abu vulkanik ukuran 200 μm + batuan fosfat ukuran 2 mm; F: abu vulkanik ukuran 200 μm + batuan fosfat ukuran 200 μm ; G: abu vulkanik ukuran 200 μm + batuan fosfat ukuran 400 nm ; H: abu vulkanik ukuran 400 nm + batuan fosfat ukuran 2 mm; I: abu vulkanik ukuran 400 nm + batuan fosfat ukuran 200 μm ; J: abu vulkanik ukuran 400 nm + batuan fosfat ukuran 400 nm . Perlakuan diulang sebanyak 3 kali sehingga total kombinasi perlakuan adalah $10 \times 3 = 30$ *polybag*.

Amelioran pada berbagai ukuran partikel normal (2mm); ukuran partikel mikron (200 μm) dan ukuran partikel nano (400 nm) dicampurkan ke dalam 2 kg tanah dengan dosis 2,5% dari berat tanah; pupuk dasar

yang diberikan adalah NPK, pupuk kandang, dan pupuk hayati yang diinkubasikan satu minggu sebelum pindah tanam bibit teh. Setelah satu minggu inkubasi kemudian dilakukan penanaman bibit teh Klon Gambung 7 yang berumur sembilan bulan. Kemudian setelah dua bulan penanaman dilakukan analisis tanah yang terdiri dari P-tersedia menggunakan metode Bray II, retensi P menggunakan metode Blakemore, analisis pH H₂O dan pH KCl menggunakan metode Elektroda Gelas (digunakan untuk mengetahui delta pH), serta pengukuran luas daun tanaman.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan data pada Tabel 1, tampak secara statistik bahwa ketersediaan P tidak dipengaruhi secara nyata oleh perlakuan.

Namun, jika dilihat dari besaran nilai, perlakuan C yakni kombinasi abu vulkanik yang berukuran normal (2 mm) dan batuan fosfat berukuran mikron (200 µm) menunjukkan nilai P tersedia terbesar yaitu 8,22 ppm. Perlakuan G (kombinasi abu vulkanik mikron dan batuan fosfat nano); D (kombinasi abu vulkanik normal dan batuan fosfat nano); dan I (kombinasi abu vulkanik nano dan batuan fosfat mikron) juga menunjukkan nilai yang cukup tinggi yang berkisar pada 7,24 sampai 7,59 ppm jika dibandingkan perlakuan lainnya yang hanya berada pada nilai 3 sampai 5 ppm.

Ketersediaan P di dalam tanah ini dapat dipengaruhi oleh pemberian batuan fosfat yang memiliki kandungan total P₂O₅ yang mencapai 28% yang tergolong cukup tinggi. Pemberian batuan fosfat dapat mengenga-

Tabel 1

Pengaruh Pemberian Kombinasi Berbagai Ukuran Abu Vulkanik dan Batuan Fosfat Terhadap Beberapa Sifat Tanah dan Luas Daun Bibit Tanaman Teh

Perlakuan	P-tersedia (ppm)	Retensi P (%)	Delta pH	Luas daun (cm ²)
A kontrol (pupuk dasar)	3,51 a	46,55 ab	0,45 a	218,02 ab
B abu vulkanik 2mm + batuan fosfat 2 mm	5,56 a	42,87 a	0,48 a	232,10 ab
C abu vulkanik 2 mm + batuan fosfat 200 µm	8,22 a	48,35 ab	0,47 a	236,76 ab
D abu vulkanik 2 mm+ batuan fosfat 400 ηm	7,39 a	46,89 ab	0,53 a	375,33 b
E abu vulkanik 200 µm + batuan fosfat 2 mm	4,23 a	46,70 ab	0,51 a	269,74 ab
F abu vulkanik 200 µm + batuan fosfat 200 µm	4,31 a	45,93 ab	0,52 a	261,04 ab
G abu vulkanik 200 µm + batuan fosfat 400 ηm	7,59 a	44,19 ab	0,61 a	126,73 a
H abu vulkanik 400 ηm + batuan fosfat 2 mm	3,86 a	48,82 b	0,52 a	171,68 a
I abu vulkanik 400 ηm + batuan fosfat 200 µm	7,24 a	45,37 ab	0,51 a	247,95 ab
J abu vulkanik 400 ηm + batuan fosfat 400 ηm	4,22 a	46,19 ab	0,47 a	187,35 a

Keterangan: nilai rata-rata yang diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan uji jarak berganda Duncan pada taraf 5%.

ruhi ketersediaan P di dalam tanah (Devnita, 2010). Pemberian perlakuan batuan fosfat ukuran mikron dan nano memiliki nilai P tersedia yang tinggi dibandingkan perlakuan lain. Hal ini menunjukkan ukuran partikel bisa menjadi faktor penentu ketersediaan P di dalam tanah. Semakin kecil ukuran partikel maka akan semakin reaktif. Hal ini sejalan dengan penelitian Amrullah, Sopandie, Sugianta, dan Junaedi (2014) yang menemukan bahwa ukuran partikel batuan fosfat dapat mempengaruhi reaktivitas fosfat yang diaplikasikan secara langsung. Semakin halus partikel batuan fosfat maka akan semakin tinggi kelarutannya karena luas permukaannya lebih besar.

Abu vulkanik juga dapat memberikan peran dalam meningkatkan ketersediaan P. Abu vulkanik mengandung kadar total P_2O_5 pada kisaran rendah hingga tinggi yaitu 8-232 ppm (Sudaryo & Sutjipto, 2009). Abu vulkanik juga memiliki kandungan Si yang tinggi berkisar 52,87%. Unsur Si dapat membantu peningkatan unsur hara lain seperti fosfat. Si di dalam tanah selain berfungsi untuk hara tanaman, juga membantu mengurangi serapan Fe dan Mn di dalam tanah yang bersifat toksik. Silika mempengaruhi fiksasi fosfor sehingga fosfor tersedia dapat meningkat (Tisdale, Nelson, Beaton, & Halvin, 1985).

Berdasarkan Tabel 1 dapat dilihat bahwa pemberian semua perlakuan tidak

berbeda nyata dengan perlakuan kontrol. Hal ini berarti bahwa pemberian berbagai kombinasi ukuran partikel abu vulkanik dan batuan fosfat terhadap retensi P tidak berbeda nyata apabila dibandingkan dengan kontrol. Nilai retensi P akibat perlakuan B (abu vulkanik 2mm dan batuan fosfat 2 mm) berbeda nyata dengan perlakuan H (abu vulkanik 400 η m dan batuan fosfat 2 mm). Hal ini menunjukkan bahwa ukuran partikel abu vulkanik yang berukuran normal (2 mm) lebih efektif dalam menurunkan retensi P dibandingkan dengan yang berukuran partikel nano.

Nilai retensi P pada perlakuan kontrol (tanpa amelioran abu vulkanik dan batuan fosfat) ternyata tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan dengan semua perlakuan amelioran. Dengan demikian, patut diduga bahwa pemberian pupuk hayati BPF sebagai pupuk dasar dapat membantu menurunkan retensi P di dalam tanah. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Parlina (2017) bahwa pemberian perlakuan batuan fosfat dengan pupuk hayati pada bulan pertama inkubasi pada Andisol Ciater menunjukkan interaksi yang nyata dalam membantu penurunan retensi P. Pupuk hayati dapat menghasilkan asam-asam organik seperti asam asetat, glutamat, suksinat, laktat, oksalat, glioksalat, malat, dan fumarat. Asam-asam organik ini dapat berfungsi sebagai katalisator dan pengkelat

yang memungkinkan asam-asam organik tersebut membentuk senyawa kompleks pada tapak jerapan pada gugus-gugus fungsional pada koloid amorf sehingga unsur P terlepas (Windi, 2012).

Data pada Tabel 1 menunjukkan bahwa secara uji statistik nilai delta pH tidak berbeda nyata antarperlakuan. Hal ini berarti, berbagai kombinasi ukuran partikel abu vulkanik dan batuan fosfat yang diberikan tidak berpengaruh terhadap nilai delta pH. Pemberian pupuk hayati saja sebagai pupuk dasar pada perlakuan kontrol ternyata dapat meningkatkan nilai delta pH tanah awal, yakni dari 0,01 menjadi 0,45. Namun jika dilihat dari nilai semua perlakuan, perlakuan G (abu vulkanik 200 μ dan batuan fosfat 400 η m) menunjukkan nilai tertinggi dibandingkan perlakuan lainnya. Nilai delta pH akan meningkat dengan meningkatnya pH pada tanah. Pada Andisol jika delta pH meningkat positif dengan rentang yang semakin jauh maka muatan negatif tanah tersebut makin meningkat, artinya kemampuan mengikat kation semakin meningkat. Abu vulkanik mengandung ion OH^- banyak, selain ion OH^- abu vulkanik juga banyak mengandung silikat yang dapat meningkatkan pH Andisol. Jika SiO_4^{4-} bereaksi dengan H_2O maka akan menghasilkan OH^- sehingga pH meningkat (Mukhlis, 2011). Semakin banyak OH^- yang terdapat di dalam tanah, pH tanah akan semakin meningkat. Selain itu, abu vulkanik

juga mengandung basa-basa seperti Ca, Mg, K, dan Na yang dapat meningkatkan pH tanah. Batuan fosfat mengandung CaCO_3 , C-organik, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang dapat menaikkan pH tanah (Subiksa & Setyorini, 1992).

Nilai delta pH merupakan salah satu indikator muatan koloid tanah, nilai ini didapat dari hasil pengurangan $\text{pH H}_2\text{O} - \text{pH KCl}$ (Uehara & Gillman, 1981). Jika nilainya $\pm 0,5$ menunjukkan bahwa tanah tersebut bermuatan variabel, yakni muatannya berubah-ubah sesuai dengan naik turunnya pH tanah (Arifin, 1994). Naik turunnya pH tanah dipengaruhi oleh input yang diberikan ke dalam tanah tersebut, baik berupa pupuk anorganik, pupuk organik atau berbagai jenis bahan amelioran, seperti batuan fosfat atau abu vulkanik. Berdasarkan hasil penelitian ini dapat dikemukakan bahwa semua perlakuan yang diberikan dapat meningkatkan nilai delta pH, jika dibandingkan dengan nilai delta pH tanah awal (tanpa pupuk dasar) sebesar 0,01.

Berdasarkan data pada Tabel 1 luas daun tanaman teh akibat perlakuan D berbeda nyata dengan perlakuan G, H, dan J. Luas daun tertinggi terdapat pada perlakuan D yaitu kombinasi abu vulkanik 2 mm dan batuan fosfat 400 η m, yakni sebesar 375,33 cm^2 . Kombinasi ukuran partikel abu vulkanik 2 mm dengan batuan fosfat 400 η m merupakan kombinasi terbaik yang dapat meningkatkan laju pertumbuhan luas daun the terbaik. Ukuran yang sangat

kecil pada batuan fosfat memiliki sifat yang lebih reaktif dan langsung bekerja secara efektif memperbaiki sifat tanah. Luas daun menunjukkan kemampuan tanaman dalam menyerap cahaya yang dibutuhkan tanaman untuk menjalankan proses fotosintesis untuk menghasilkan fotosintat (Anjarsari, Rosniawaty, & Suherman, 2015).

Luas daun dipengaruhi oleh unsur hara yang terdapat di dalam tanah. Salah satu unsur hara yang berperan yaitu unsur P. Unsur P diserap tanaman dalam bentuk ion organik ortofosfat HPO_4^{2-} dan HPO_4^- . Pada perlakuan D (abu vulkanik 2 mm dan batuan fosfat 400 μm), nilai P tersedia cukup tinggi sehingga dapat memacu perkembangan luas daun. Pada perlakuan G (abu vulkanik 200 μm dan batuan fosfat 400 μm), H (abu vulkanik 400 μm dan batuan fosfat 2 mm) dan J (abu vulkanik 400 μm dan batuan fosfat 400 μm) meskipun memiliki P tersedia yang cukup tinggi, namun namun tidak dibarengi peningkatan luas daun yang nyata. Hal ini menunjukkan kompleksitas reaksi di dalam tanah bermuatan variabel akibat perlakuan berbagai ukuran partikel dari bahan amelioran yang membuka kesempatan penelitian lebih lanjut untuk pemahaman yang lebih mendalam.

SIMPULAN

Pemberian perlakuan kombinasi abu vulkanik dan batuan fosfat pada berbagai

ukuran partikel (2 mm, 200 μm , dan 400 μm) menunjukkan pengaruh yang berbeda nyata terhadap retensi P dan luas daun bibit teh Klon Gambung 7, sedangkan terhadap P tersedia dan delta pH tidak menunjukkan pengaruh yang nyata. Abu vulkanik dengan ukuran 2 mm yang dikombinasikan dengan batuan fosfat 2 mm dapat menurunkan retensi P menjadi 42,87% dari semula tanah awal 95%. Pemahaman yang lebih mendalam mengenai kompleksitas reaksi yang terjadi pada Andisol bermuatan variabel akibat perlakuan berbagai ukuran partikel dari bahan amelioran dan responsnya terhadap tanaman teh memerlukan penelitian lebih lanjut.

DAFTAR PUSTAKA

- Alviandy, R. Q., Ariani, E., & Saputra, S. I. (2016). Pemberian abu vulkanik terhadap pertumbuhan kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) di main nursery. *JOM Faperta*, 3(1), 1-11.
- Amrullah, A., Sopandie, D., Sugianta, S., & Junaedi, A. (2014). Peningkatan produktivitas tanaman padi (*Oryza sativa* L.) melalui pemberian nano silika. *PANGAN*, 23(1), 17-32.
- Anjarsari, I. R. D., Rosniawaty, S., & Suherman, C. (2015). Rekayasa ekofisiologis tanaman teh belum menghasilkan klon GMB 7 melalui pemberian asam humat dan pupuk hayati konsorsium. *Jurnal Kultivasi*, 14(1), 25-31.
- Arifin, M. (1994). *Pedogenesis Andisol berbahan induk abu volkan andesit basal pada beberapa zona agroklimat di daerah perkebunan teh Jawa Barat* (Disertasi doktor tidak diterbitkan). Program Pascasarjana Institut Pertanian Bogor, Bogor.

- Arifin, M., Yuniarti, A., & Dahliani, D. (2017). Pengaruh abu vulkanik dan batuan fosfat dalam bentuk nanoteknologi terhadap retensi P, Delta pH, dan kejenuhan basa pada Andisols Ciater, Jawa Barat. *Jurnal Agroteknologi*, 9(1).
- Devnita, R. (2010). *Pengaruh berbagai bahan amelioran terhadap pH_p, retensi P dan KTK pada beberapa Andisol di Jawa Barat* (Laporan penelitian tidak diterbitkan). Fakultas Pertanian Universitas Padjadjaran, Bandung.
- Devnita, R., Arifin, M., Hudaya, R., Setiawan, A., & Sandrawati, A. (2017). Keterkaitan parameter nilai pH, C-organik, N-Total, C/N dan alofan pada beberapa Andisols di Jawa Barat. *Soil Rens: Jurnal Ilmiah Lingkungan Tanah Pertanian*, 15(1).
- Direktorat Jendral Perkebunan. (2015). *Statistik perkebunan Indonesia 2013-2015*. Jakarta: Kementerian Pertanian.
- Hardjowigeno, S. (2010). *Ilmu tanah*. Jakarta: CV Akademika Pressindo.
- Maryanto, J., & Ismangil. (2010). Pengaruh pupuk hayati dan batuan fosfat alam terhadap ketersediaan fosfor dan pertumbuhan stroberi pada tanah Andisol. *Jurnal Hortikultura Indonesia*, 1(2), 66-73.
- Mukhlis. (2011). *Tanah Andisol genesis, klasifikasi, karakteristik, penyebaran dan analisis*. Medan: USU Press.
- Munir, M. S. (1996). *Tanah-tanah utama Indonesia. Karakteristik; klasifikasi dan pemanfaatannya*. Jakarta: PT. Dunia Pustaka Jaya.
- Nurhasanah, Z. (2011). *Efektivitas amelioran abu vulkanik merapi dalam mengubah sifat kimia tanah Ultisol dan pertumbuhan kedelai* (Skripsi tidak diterbitkan). Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Parlina, F. F. (2017). *Pengaruh partikel nano batuan fosfat dan pupuk hayati terhadap retensi P, P tersedia, serta pH H₂O dan pH KCl pada tanah Andisol Ciater, Subang, Jawa Barat* (Skripsi tidak diterbitkan). Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran, Bandung.
- Pusat Penelitian Teh dan Kina. (2006). *Petunjuk Kultur Teknis Tanaman Teh*. Lembaga Riset Perkebunan Indonesia. Gambung, Bandung.
- Puslittanak. (2001). *Atlas sumberdaya tanah Indonesia tingkat eksplorasi, skala 1:1.000.000*. Puslittanak, Bogor.
- Rachim, D. A., & Arifin, M. (2011). *Klasifikasi tanah di Indonesia*. Bandung: Pustaka Reka Cipta.
- Sajimin, Panggabean, T., & Lugiyo. (2001, September). *Penggunaan batuan fosfat (Natural Defluorinated Calcium Phosphate atau NDPCP) untuk meningkatkan produksi hijauan pakan rumput gamba*. Makalah disajikan pada Seminar Nasional Teknologi Peternakan dan Veteriner. Bogor.
- Soil Survey Staff. (2014). *Keys to soil taxonomy* (12th ed.). Washington, DC Steiger: Natural Res. Conserv. Service, US Department of Agriculture.
- Subiksa, I. G. M., & Setyorini, D. (1992). *Pemanfaatan fosfat alam untuk lahan sulfat masam*. Bogor: Balai Penelitian Tanah.
- Sudaryo, & Sutjipto. (2009). *Identifikasi dan penentuan logam pada tanah vulkanik di daerah Cangrangan Kabupaten Sleman dengan metode analisis aktivitas neutron cepat*. Makalah disajikan pada Seminar Nasional V. STTN BATAN Yogyakarta.
- Sudrajat, A. (2009). *The development of volcanologic investigation in Indonesia*. Bandung: Universitas Padjadjaran Press.
- Sukmawati. (2011). Jerapan P pada Andisol yang berkembang dari tuff vulkan beberapa gunung api di Jawa Tengah dengan pemberian asam humat dan asam silikat. *Jurnal Media Litbang Sulteng*, 4(1), 30-36.
- Tisdale, S. L., Nelson, W. L., Beaton, J. D., & Halvin, J. L. (1985). *Soil fertility and fertilizers* (5th ed.). New York: Macmillan Pub. Co.

- Uehara, G., & Gillman, G. (1981). *The mineralogy, chemistry, and physics of tropical soils with variable charge clays*. Colorado: Westview press/Boulder.
- Widowati, L. R., Husnain, & Hartatik, W. (2012). Peluang formulasi pupuk berteknologi nano. Dalam Wigena dkk. (Eds.), *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pemupukan dan Pemulihan Lahan Terdegradasi* (pp. 307-316). Bogor: Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian.
- Windi. (2012). *Pengaruh pupuk hayati dan pupuk P terhadap ketersediaan fosfor dan pertumbuhan krisan (Chrysanthemum sp) di Tanah Regosol Cimacan* (Skripsi tidak diterbitkan). Institut Pertanian Bogor, Bogor.