

Penetapan Metode Ekstraksi Fosfor dan Kalium Terbaik untuk Tanaman Cabai pada Tanah Andisol

Determination of the Best Phosphorus and Potassium Extraction Methods for Chili Plants on Andisols

Rahmansyah Dermawan^{1,2)}, Anas Dinurrohman Susila^{3)*}, Purwono³⁾, Budi Nugroho⁴⁾, Sugiyanta³⁾⁺

Diterima 8 Maret 2022/Disetujui 28 Juli 2022

ABSTRACT

Determination of the P and K-soil extraction method on Andisols for chili cultivation is an important step in formulating fertilizer recommendations. The research was conducted in the plastic house of the PKHT Experimental Farm IPB, Tajur, Bogor at position 6°38'12.9"S 106°49'25.2.9"E and 388 m above sea level. The soil sample came from Cikajang Village, Garut Regency at position 7°21'46.7"S 107°45'13.1"E. Soil tests were carried out at the Chemistry and Soil Fertility Laboratory, Faculty of Agriculture, IPB. The study was arranged based on a randomized complete block design with 1 factor, namely Andisols and repeated in five repetitions. The parameter observed was the correlation between five extraction methods of P and K-soil (Mechlich-1, Bray-1, Morgan-Wolf, Ammonium acetate, and HCl-25%) and the relative dry weight of biomass of chili plants. The results showed that there were differences in the correlation between the P and K extraction methods and the relative dry weight of chili plants. The Morgan-Wolf showed the best correlation in extracting P-Andisols ($r=0.94$) while in the K-Andisols correlation test, the Ammonium acetate showed the best results ($r=0.97$). The Mechlich-1 can be used as an alternative extraction method for P and K-soil Andisol for chili plants.

Keywords: Ammonium acetate, coefficient correlation, Morgan-Wolf, soil test, vegetables

ABSTRAK

Penetapan metode ekstraksi P dan K-tanah merupakan langkah awal yang penting dalam menyusun rekomendasi dosis pemupukan untuk penanaman cabai di Andisol. Penelitian dilakukan di rumah plastik Kebun Penelitian PKHT IPB, Tajur Bogor pada posisi 6°38'12.9"S 106°49'25.2.9"E pada ketinggian 388 mdpl. Sampel tanah yang digunakan berasal dari tanah Andisol, asal Desa Cikandang, Kecamatan Cikajang, Kabupaten Garut pada posisi 7°21'46.7"S 107°45'13.1"E. Uji tanah dilakukan di Laboratorium Pengujian, Departemen Agronomi dan Hortikultura dan Laboratorium Kimia dan Kesuburan Tanah, Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, IPB. Penelitian disusun berdasarkan rancangan kelompok lengkap teracak dengan 1 faktor yaitu tanah Andisol dan diulang sebanyak 5 ulangan. Parameter yang diamati adalah korelasi antara lima metode ekstraksi P dan K-tanah (Mechlich-1, Bray-1, Morgan-Wolf, Ammonium asetat, dan HCl-25%) dengan bobot kering biomassa relatif (BKR) tanaman cabai. Keeratan hubungan antara kelima metode ekstraksi dengan BKR tanaman cabai ditunjukkan oleh nilai koefisien korelasi (r). Hasil penelitian menunjukkan adanya perbedaan keeratan hubungan metode ekstraksi P dan K-tanah Andisol terhadap bobot kering relatif tanaman cabai. Metode ekstraksi Morgan-Wolf menunjukkan korelasi terbaik dalam mengekstrak P-tanah Andisol ($r=0.94$) sedangkan pada uji korelasi K-tanah Andisol, metode ekstraksi Ammonium asetat menunjukkan hasil terbaik ($r=0.97$). Metode ekstraksi Mechlich-1 dapat dijadikan metode ekstraksi alternatif untuk P dan K-tanah Andisol untuk tanaman cabai.

Kata kunci: *Ammonium asetat*, koefisien korelasi, Morgan-Wolf, uji tanah, sayuran

¹⁾ Departemen Budidaya Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin.

Jl. Perintis Kemerdekaan Km. 10. Kampus Unhas Tamalanrea, Makassar 90245, Sulawesi Selatan, Indonesia.

²⁾ Sekolah Pascasarjana, Departemen Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor.

Jl. Meranti Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680, Indonesia

³⁾ Departemen Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor.

Jl. Meranti Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680, Indonesia

⁴⁾ Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor.

Jl. Meranti Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680, Indonesia

E-mail: anasdsusila10@gmail.com (*penulis korespondensi)

⁾⁺Wafat

PENDAHULUAN

Ketersediaan hara fosfor (P) dan kalium (K) di dalam tanah perlu diketahui sebelum melakukan pemupukan tanaman. Hal ini terkait dengan efisiensi pemupukan seperti biaya, tenaga, dan waktu serta kaitannya dengan hasil yang hendak dicapai. Sifat fisik, kimia, dan biologi tanah turut mempengaruhi tingkat ketersediaan hara di dalam setiap tipe tanah, termasuk tanah Andisol (Prasetyo, 2005; Subardja *et al.*, 2014; Sukarman dan Dariah, 2014). Ketepatan dalam memprediksi ketersediaan hara di dalam tanah merupakan faktor penting dalam penetapan rekomendasi pemupukan yang presisi dan efisien (Krishna, 2013). Dalam filosofi pemupukan *Nutrient Sufficiency Level*, penambahan hara pada tanah diberikan sesuai dengan kebutuhan tanaman, yang tidak mampu disediakan oleh tanah (Hati dan Susila, 2016; Susila *et al.*, 2013).

Uji tanah mampu memberikan gambaran informasi terkait kebutuhan hara esensial yang optimum untuk tanaman (Jabri, 2013). Penetapan ketersediaan hara P dan K-tanah melalui uji tanah, diawali dengan uji korelasi antara metode ekstraksi P dan K tanah terhadap respon pertumbuhan tanaman (Azeez *et al.*, 2013). Nilai uji tanah tidak memiliki arti apabila tidak dilakukan penelitian uji korelasi antara uji tanah dengan respon hasil tanaman (Gunawan *et al.*, 2019; Hochmunth dan Hanlon, 2010).

Penetapan P dan K-tanah tersedia memerlukan metode ekstraksi yang mampu mengekstrak P dan K-tanah secara tepat (presisi), cepat, dan murah (Carter dan Gregorich, 2008; Jabri, 2013; Jabri, 2007). Beberapa metode pengeksrak P dan K-tanah yang dilakukan antara lain, yaitu Truog, Bray-1, Bray-2, Mehlich-1, Mechlich-3, Morgan-Wolf, dan Olsen (Izhar *et al.*, 2012; Lestari *et al.*, 2020; Spargo, 2016).

Laboratorium uji tanah di Indonesia umumnya hanya menggunakan metode Bray-1, Olsen, dan HCl-25% untuk mengekstraksi hara P, sedangkan untuk ketersediaan K, menggunakan metode ekstraksi Ammonium asetat. Kelirunya, semua metode ekstraksi tersebut digunakan untuk mengekstrak P dan K pada semua jenis tanah dan diperuntukkan untuk penetapan rekomendasi dosis pemupukan semua jenis tanaman. Setiap metode ekstraksi hara bekerja secara spesifik untuk mengekstrak hara pada jenis tanah tertentu. Setiap metode ekstraksi mempunyai sifat tersendiri dalam mengekstrak unsur hara, termasuk hara P dan K (Umaternate *et al.*, 2014). Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan informasi terkait metode ekstraksi P dan K-tanah Andisol yang terbaik sebagai informasi awal dalam penetapan rekomendasi dosis pemupukan P dan K untuk tanaman cabai.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilaksanakan pada Februari sampai Juni 2021 di rumah plastik Kebun Penelitian PKHT-IPB, Bogor pada posisi 6°38'12.9"S 106°49'25.2"E pada ketinggian 338 m dpl. Sampel tanah Andisol berasal dari Desa Cikandang,

Kecamatan Cikajang, Kabupaten Garut pada posisi 7°21'46.7"S 107°45'13.1"E. Uji tanah dilakukan di Laboratorium Kimia dan Kesuburan Tanah, Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, IPB.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sampel tanah Andisol, bibit cabai varietas Bonita IPB, pupuk urea (46% N), pupuk SP36 (36% P₂O₅), pupuk KCl (60% K₂O), bahan-bahan kimia yang digunakan pada 5 metode ekstraksi P dan K-tanah (Mechlich-1, Bray-1, Morgan-Wolf, Ammonium asetat, dan HCl-25%), fungisida, dan insektisida. Adapun alat yang digunakan antara lain polibag, timbangan, amplop coklat, oven, *knapsack*, mulsa plastik, *Decision Support System* FERADS dan mesin fertigasi otomatis NUTRIGARDS.

Penelitian menggunakan pendekatan lokasi tunggal (*single location*). Kegiatan diawali dengan pengambilan sampel tanah yang dilakukan dengan mengikuti metode diagonal (Setyorini *et al.*, 2003). Sampel tanah tersebut dijadikan sebagai media tanam cabai di rumah plastik. Uji korelasi P dan K-tanah menggunakan rancangan kelompok lengkap teracak dengan faktor tunggal yaitu jenis tanah Andisol. Tanah Andisol ditanami 5 tanaman cabai dan diulang sebanyak lima kali sehingga terdapat 25 satuan penelitian untuk uji korelasi P dan 25 satuan penelitian untuk uji korelasi K.

Tanah diayak, dikeringanginkan, lalu ditimbang sebanyak 6 kg lalu dimasukkan ke dalam polibag berukuran 20 x 30 cm. Penanaman cabai 1 tanaman per polibag. Pupuk dasar (bukan perlakuan) diberikan berupa urea dan KCl untuk uji korelasi P, sedangkan untuk uji korelasi K menggunakan pupuk urea dan SP36. Dosis pupuk berdasarkan hasil analisis tanah dan rekomendasi dari *Decision Support System* FERADS. Penyiraman menggunakan sistem irigasi tetes otomatis dengan volume siram 250 ml per 15 menit dan diaplikasikan sebanyak 3 kali sehari yaitu pagi (pukul 07.00), siang (pukul 13.00), dan sore (pukul 16.00). Pengendalian hama, penyakit, dan gulma dilakukan sesuai kebutuhan.

Peubah yang diamati yaitu bobot kering biomassa. Pengambilan sampel tanaman cabai dilakukan pada 30 hari setelah tanam (HST). Bagian tajuk dan akar dikeringanginkan, kemudian dimasukan ke dalam oven suhu 60 °C selama 3 hari. Setelah itu, dilakukan pengukuran bobot kering biomassa relatif (BKR). BKR merupakan perbandingan antara bobot kering biomassa pada perlakuan hara tertentu dengan bobot kering biomassa maksimum pada status hara tertentu mengacu pada Gunawan (2019) dengan perhitungan:

$$\text{Bobot kering biomassa relatif (BKR)} = \frac{Y_i}{Y_{\text{maks}}} \times 100\%$$

Y_i = bobot kering biomassa pada perlakuan P atau K ke-i
Y_{maks} = bobot kering biomassa maksimum pada status hara P

Data bobot kering biomassa relatif akan diuji korelasi dan regresi dengan kelima metode ekstraksi P dan K-tanah menggunakan program Excel 2019. Metode ekstraksi terbaik ditentukan oleh nilai koefisien korelasi (r), koefisien determinasi

(R²), dan nilai signifikansi dari masing-masing metode ekstraksi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis korelasi antara 2 peubah atau lebih diperlukan untuk mengetahui arah dan keeratan hubungan antara peubah tersebut (peubah bebas dan tidak bebas) (Gomez dan Gomez, 1995). Nilai koefisien korelasi yang tertinggi dipilih sebagai metode ekstraksi P dan K-tanah terbaik pada tanah Andisol untuk tanaman cabai. Selain nilai koefisien korelasi, pertimbangan faktor kemudahan kerja, ketersediaan bahan, dan biaya analisis juga diperhitungkan dalam menentukan metode ekstraksi P dan K-tanah terbaik.

Hubungan Metode Ekstraksi P-tanah dengan Bobot Kering Biomassa Relatif Cabai

Berat kering biomassa mencerminkan akumulasi senyawa organik yang berhasil disintesis tanaman dari senyawa anorganik yaitu air dan CO₂ (Makkar *et al.*, 2007; Taiz dan Zeiger, 2010). Hara P dan K berperan penting dalam proses metabolisme tanaman, terutama pada proses fotosintesis dan transportasi asimilat (Barker dan Pilbeam, 2015; Maathuis, 2013).

Uji korelasi metode ekstraksi P-tanah Andisol terhadap bobot kering biomassa relatif (BKR) tanaman cabai menunjukkan hasil yang berbeda. Grafik korelasi linier bersifat positif, nilai koefisien determinasi (R²) dan nilai koefisien korelasi (r) yang berbeda juga menunjukkan adanya perbedaan keeratan hubungan yang sangat kuat antar masing-masing metode ekstraksi dengan BKR tanaman cabai (r > 0.75) (Gambar 1).

Hasil uji regresi antara metode ekstraksi P-tanah terhadap BKR tanaman cabai juga membuktikan bahwa setiap metode ekstraksi P-tanah Andisol berpengaruh secara spesifik dan signifikan terhadap BKR tanaman cabai di tanah Andisol (Tabel 1).

Hubungan keeratan tertinggi terjadi antara metode ekstraksi Morgan-Wolf dengan BKR tanaman cabai (r=0.94) (Tabel 1). Berdasarkan nilai koefisien korelasinya, maka hubungan tingkat keeratan antar masing-masing metode ekstraksi tersusun sebagai berikut: Morgan-Wolf > Mechlich-1 > Bray-1 > HCl-25% > Ammonium asetat. Pada penelitian

ini dihasilkan 3 metode ekstraksi P dan K-tanah Andisol terbaik pada pertanaman cabai yaitu Morgan-Wolf (r=0.94), Mechlich-1 (r=0.91), dan Bray-1 (r=0.90). Penelitian ini mendukung penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa metode ekstraksi Mechlich-3 mampu mengekstrak P lebih tinggi dibandingkan Bray-1 pada tanah Andisol Ngablak dan Pelaosan, Jawa Tengah untuk penanaman cabai (Hartono *et al.*, 2019).

Hubungan Metode Ekstraksi K-tanah dengan Bobot Kering Biomassa Relatif Cabai

Hara K merupakan hara esensial bagi tanaman yang berperan sebagai aktivator pada proses enzimatik di dalam jaringan tanaman. Pembentukan akar pada fase pertumbuhan dan sintesis karbohidrat dan protein pada fase generatif tanaman merupakan salah satu peran penting K dalam proses metabolisme tanaman (Jones, 2012; Mitra, 2015). Penambahan K ke dalam tanah berpengaruh signifikan dan linier terhadap bobot per tanaman dan bobot per buah tanaman cabai (Widyanti dan Susila, 2015).

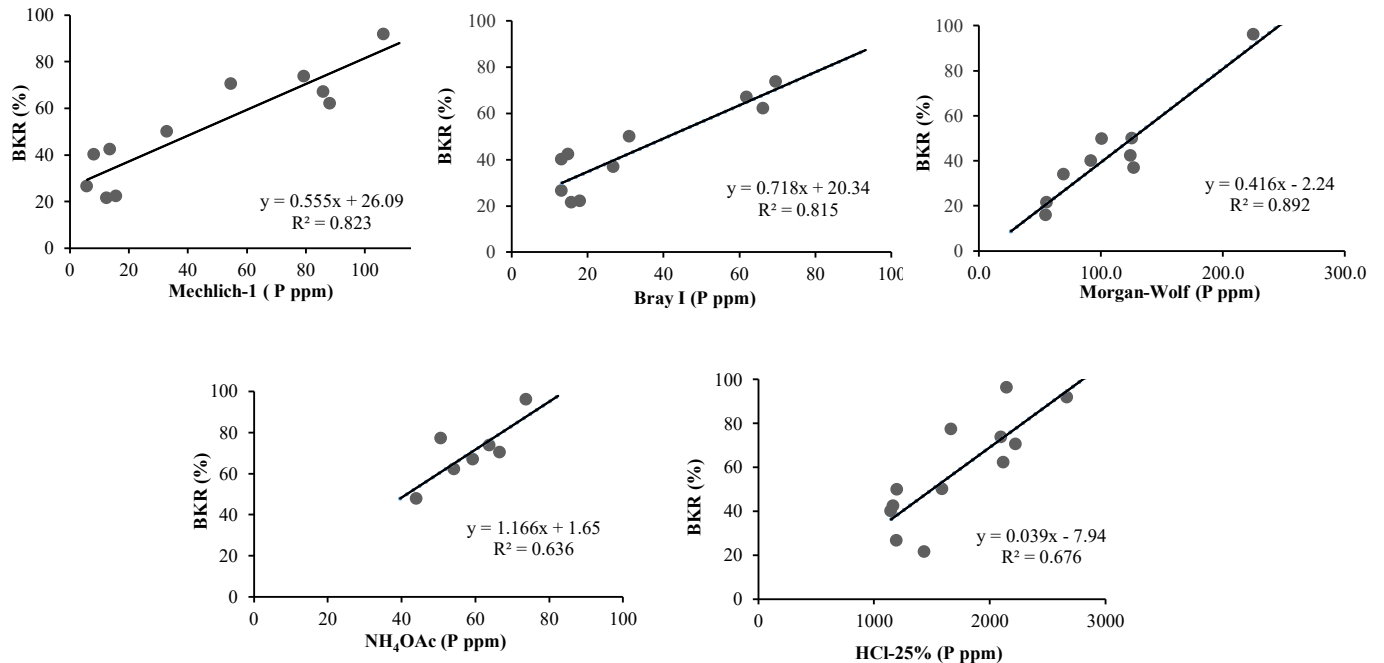
Hasil penelitian menunjukkan bahwa setiap metode ekstraksi K-tanah memberikan korelasi positif dan hubungan keeratan tertinggi terjadi antara metode ekstraksi Ammonium asetat dengan peningkatan BKR tanaman cabai (Gambar 2). Berdasarkan nilai koefisien korelasinya, maka hubungan tingkat keeratan antar masing-masing metode ekstraksi tersusun sebagai berikut: Ammonium asetat > Mechlich-1 > Morgan-Wolf > Bray-1 > HCl-25%. Pada penelitian ini dihasilkan 3 metode ekstraksi K-tanah Andisol terbaik pada pertanaman cabai yaitu Ammonium asetat (r=0.97), Mechlich-1 (r=0.88), dan Morgan-Wolf (r=0.80) (Tabel 2).

Uji korelasi metode ekstraksi P dan K-tanah Andisol dengan bobot kering biomassa relatif tanaman cabai menunjukkan perbedaan kesesuaian dan keeratan hubungan. Hal ini menggambarkan bahwa setiap metode ekstraksi memiliki kemampuan yang berbeda dalam mengekstrak P dan K-tanah tersedia (Aprianto *et al.*, 2020). Penetapan dosis pemupukan yang presisi dan efisien dengan mempertimbangkan hubungan jenis tanah (melalui uji tanah) dan tanaman merupakan langkah yang tepat. Hal ini disebabkan oleh sifat tanah yang memiliki kekhususan tersendiri pada kandungan P dan K-tanah tersedianya (Nursyamsi dan Setyorini, 2009; Rogers *et al.*, 2019).

Tabel 1. Hubungan linier antara metode ekstraksi P-tanah dengan bobot kering relatif tanaman cabai

Metode ekstraksi P-tanah	Persamaan regresi	Koefisien korelasi (r)	Signifikansi
Mechlich-1	Y = 0.555x + 26.09	0.91	0.00**
Bray-1	Y = 0.718x + 20.34	0.90	0.00**
Morgan-Wolf	Y = 0.416x - 2.24	0.94	0.00**
Ammonium asetat (NH ₄ OAc)	Y = 1.166x + 1.65	0.80	0.03*
HCl-25%	Y = 0.039x - 7.94	0.82	0.00**

Keterangan: (**) = sangat nyata pada P<0.01; (*) = nyata pada taraf P<0.05.



Gambar 1. Hubungan antara metode ekstraksi P-tanah (Mechlich-1, Bray-1, Morgan-Wolf, NH₄OAc, dan HCl-25%) dengan bobot kering relatif tanaman cabai.

Tabel 2. Hubungan linier antara metode ekstraksi K-tanah dengan bobot kering relatif tanaman cabai

Metode ekstraksi K-tanah	Persamaan linier	Koefisien korelasi (r)	Signifikansi
Mechlich-1	$Y = 0.279x - 9.96$	0.88	0.00**
Bray-1	$Y = 0.702x - 71.93$	0.79	0.00**
Morgan-Wolf	$Y = 0.156x - 8.07$	0.80	0.00**
Ammonium asetat (NH ₄ OAc)	$Y = 0.320x - 40.82$	0.97	0.00**
HCl-25%	$Y = 0.113x - 6.75$	0.76	0.00**

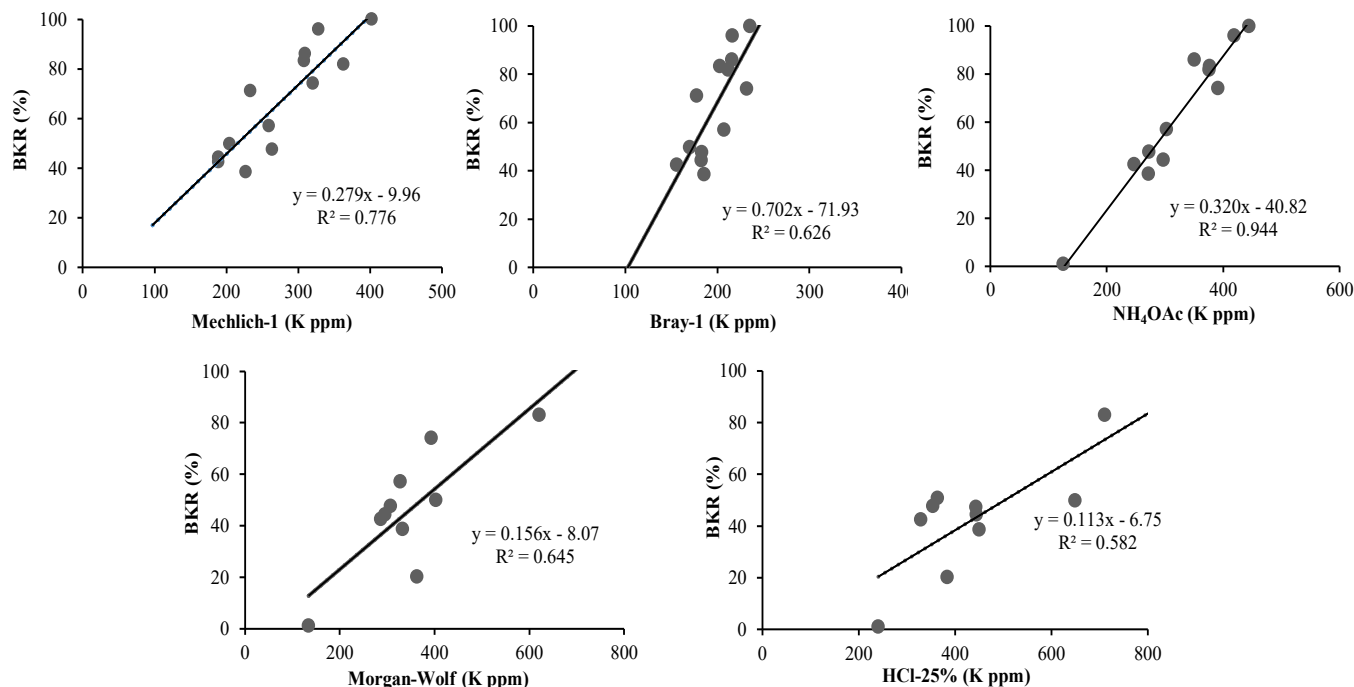
Keterangan: (**) = sangat nyata pada $P < 0.01$

Hasil penelitian ini juga mendukung penelitian-penelitian sebelumnya terkait metode ekstraksi P dan K-tanah pada berbagai tipe tanah dan jenis sayuran yang berbeda. Metode ekstraksi K terbaik pada tanah Inceptisol Darmaga untuk tanaman tomat yaitu Troug (Izhar, 2012), pada tanah Andisol Cianjur untuk tanaman tomat berturut-turut yaitu Morgan-Wolf dan Ammonium asetat (Gunawan *et al.*, 2019), metode ekstraksi Bray-1 (ekstraksi P-tanah) dan Morgan-Vanema (ekstraksi K-tanah) terbaik untuk penanaman cabai di tanah Inceptisol Papua Barat (Amisnaipa, 2014, Amisnaipa *et al.*, 2014), pada tanah Inceptisol Dramaga untuk tanaman cabai menggunakan metode ekstraksi Morgan-Wolf (Widyanti, 2014), sedangkan metode ekstraksi hara K-tanah terbaik pada tanah Ultisol untuk bawang merah adalah Mechlich-1 (Lestari *et al.*, 2020).

Pada penelitian ini, metode ekstraksi P terbaik dihasilkan pada 3 metode ekstraksi yaitu Morgan-Wolf ($r=0.94$),

Mechlich-1 ($r=0.91$), dan Bray-1 ($r=0.90$). Pada uji korelasi K, diperoleh metode ekstraksi terbaik yaitu Ammonium asetat ($r=0.97$), Mechlich-1 ($r=0.88$), dan Morgan-Wolf ($r=0.80$). Penetapan metode ekstraksi terbaik juga dapat diperkuat dengan membandingkan kemudahan uji, ketersediaan bahan (bahan kimia untuk pengujian), dan biaya analisis tanah yang harus dikeluarkan. Berdasarkan ketiga faktor tersebut, maka dapat disusun metode ekstraksi terbaik P dan K-tanah Andisol adalah Mechlich-1 > Ammonium asetat > Bray-1 > HCl-25% > Morgan-Wolf (Gunawan, 2019).

Koefisien korelasi metode ekstraksi P-tanah Morgan-Wolf dan Mechlich-1 tidak berbeda nyata (Tabel 1) sehingga metode Mechlich-1 dapat dijadikan alternatif untuk mengekstrak P-tanah Andisol jika Morgan-Wolf tidak tersedia. Metode ekstraksi Mechlich-1 juga dapat dijadikan alternatif untuk mengekstrak K-tanah Andisol untuk tanaman cabai jika Ammonium asetat tidak tersedia.



Gambar 2. Hubungan antara metode ekstraksi K-tanah (Mechlich-1, Bray-1, Morgan-Wolf, NH₄OAc, dan HCl-25%) dengan bobot kering relatif tanaman cabai.

KESIMPULAN

Terdapat perbedaan keeratan hubungan metode ekstraksi P dan K-tanah Andisol dengan bobot kering relatif (BKR) tanaman cabai. Keeratan hubungan tersebut berada pada status kuat hingga sangat kuat ($0.76 < r < 0.97$). Berdasarkan nilai koefisien korelasinya, metode ekstraksi P dan K-tanah Andisol terbaik untuk penanaman cabai berturut-turut adalah Morgan-Wolf dan Ammonium asetat. Jika kedua metode ekstraksi tersebut tidak tersedia di laboratorium uji tanah, maka Mechlich-1 dapat dijadikan sebagai metode ekstraksi alternatif untuk mengekstrak P dan K-tanah Andisol.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Pusat Kajian Hortikultura Tropika (PKHT), IPB dan LPDP melalui Pendanaan Riset Inovatif Produktif (RISPRO) dengan nomor kontrak 61/LPDP/2020 yang telah memfasilitasi dan mendanai kegiatan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Amisnaipa. 2014. Penentuan kebutuhan pupuk fosfor dan kalium berdasarkan uji tanah untuk tanaman cabai merah besar (*Capsicum annum L.*) di lahan inceptisol papua barat. Disertasi. Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor. 118 hal.

Amisnaipa, A.D. Susila, S. Susanto, D. Nursyamsi. 2014. Penentuan metode ekstraksi P tanah Inceptisols untuk tanaman cabai (*Capsicum annum L.*). J. Hort. 24(1): 42-48.

Aprianto, F., R. Rosliani, Liferdi. 2020. Korelasi antara serapan P tanaman cabai (*Capsicum annum L.*) dengan metode penetapan P tersedia tanah ordo Inceptisol Subang. J. Tanah dan Sumberdaya Lahan. 7(2): 321-327. Doi: <http://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2020.007.2.17>.

Azeez, J.O., U.U. Inyang, O.C. Olubuse. 2013. Determination of appropriate soil test extractant for available phosphorus in Southwestern Nigerian soils. Commun Soil Sci. Plant Anal. 44(10): 1540-1556. Doi: <http://doi.org/10.1080/00103624.2013.768259>.

Barker, A.V., D.J. Pilbeam. 2015. Handbook of Plant Nutrition. New York, Taylor and Francis Group. 774p.

Carter, M.R., E.G. Gregorich. 2008. Soil Sampling and Methods of Analysis. USA. CRC Press. 1263p.

Gomez, K.A., A.A Gomez. 1995. Prosedur Statistik untuk Penelitian Pertanian. Jakarta, Penerbit Universitas Indonesia. 698 hal.

- Gunawan, E. 2019. Penetapan rekomendasi pemupukan fosfor dan kalium berdasarkan uji tanah untuk tanaman tomat (*Solanum lycopersicum L.*) pada tanah Andisol. Disertasi. Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor. Bogor. 102 hal.
- Gunawan, E., A.D. Susila, A. Sutandi, E. Santosa. 2019. Penetapan metode ekstraksi kalium terbaik untuk tanaman tomat (*Solanum lycopersicum L.*) pada tanah Andisol. *J. Hort. Indonesia*. 10(3): 173-181. Doi: <http://doi.org/10.29244/jhi.10.3.173-181>.
- Hartono, A., D. Nadalia, S.L.H. Khuluq. 2019. Penentuan batas kritis fosfor untuk pertumbuhan cabai merah besar (*Capsicum annum L.*) pada tanah di pulau Jawa. *J. Hort. Indonesia*. 10(3):190-199.
- Hati, H.A.P., A.D. Susila. 2016. Optimasi dosis pemupukan kalium pada budidaya tomat (*Lycopersicon esculentum*) di Inceptisol Dramaga. *Bul. Agrohorti*. 4(2): 173-179.
- Hochmunth, G., E. Hanlon. 2010. Principles of soil fertilizer recommendation. IFAS Extension, University of Florida.
- Izhar, L. 2012. Pengembangan uji tanah untuk membangun kriteria rekomendasi pemupukan fosfor dan kalium pada tanaman tomat. Disertasi. Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor. Bogor. 100 hal.
- Izhar, L., A.D. Susila, B.S. Purwoko, A. Sutandi, I. Mangku. 2012. Penentuan metode terbaik uji fosfor untuk tanaman tomat pada tanah Inceptisols. *J. Hort*. 22(2): 139-147.
- Jones, B.J. 2012. Plant Nutrition and Soil Fertility Manual. New York. CRC Press. 296p.
- Jabri, A. 2013. Teknologi uji tanah untuk penyusunan rekomendasi pemupukan berimbang tanaman padi sawah. *Pengembangan Inovasi Pertanian*. 6(1): 11-22.
- Jabri, A. 2007. Perkembangan uji tanah dan strategi program uji tanah masa depan di Indonesia. *J. Litbang Pertanian*. 2654-66.
- Krishna, K.R. 2013. Precision farming: Soil Fertility and Productivity Aspects. UK. CRC Press. 176p.
- Lestari, I.P., A.D. Susila, A. Sutandi, D. Nursyamsi. 2020. Studi korelasi K pada tanah Ultisol untuk tanaman bawang merah (*Allium ascalonicum L.*). *J. Hort. Indonesia*. 11(1): 41-50. Doi: <http://doi.org/10.29244/jhi.11.1.41-50>.
- Maathuis, F.J.M. 2013. Plant Mineral Nutrients: Methods and Protocols. New York. Humana Press. 311p.
- Makkar, H.P.S., P. Siddhuraju, K. Becker. 2007. Plant Secondary Metabolites. New Jersey. Humana Press. 129p.
- Mitra, G.N. 2015. Regulation of Nutrient Uptake by Plants: A Biochemical and Molecular Approach. India. Springer. 209p.
- Nursyamsi, D., D. Setyorini. 2009. Ketersediaan P tanah-tanah Netral dan Alkalin. *Jurnal Tanah dan Iklim*. 3025-3036 hal.
- Prasetyo, B.H. 2005. Andisol: Karakteristik dan pengelolaannya untuk pertanian di Indonesia. *J. Sumberdaya Lahan*. 1(1): 1-9.
- Rogers, C.W., B. Dari, K.L. Schroeder. 2019. Comparison of soil-test extractants for potassium, calcium, magnesium, sulfur, and micronutrients in Idaho Soils. *Agrosystems, Geosciences & Environment*. 2(1): 1-9. Doi: <http://doi.org/10.2134/age2019.08.0067>.
- Setyorini, D., J.S. Adiningsih, S. Rochayati. 2003. Uji Tanah Sebagai Dasar Penyusunan Rekomendasi Pemupukan. Balai Penelitian Tanah. Bogor. 56 hal.
- Spargo, J.T. 2016. Analysis and interpretation of phosphorus in soils and residuals. Penn State Extension.
- Subardja, D., S. Ritung, M. Anda, Sukarman, E. Suryani, R.E. Subandiono. 2014. Petunjuk Teknis Klasifikasi Tanah Nasional. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Bogor. 55 hal.
- Sukarman, A. Dariah. 2014. Tanah Andosol: Karakteristik, Potensi, Kendala, dan Pengelolaannya untuk Pertanian. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian. Bogor. 156 hal.
- Susila, A.D., E. Gunawan, D. Efendi. 2013. Penetapan kriteria rekomendasi pemupukan yang andal sebagai dasar penetapan dosis rekomendasi pemupukan tanaman sayuran nasional: Metode uji P tanah untuk beberapa komoditas tanaman sayuran di Andisol. *Prosiding Seminar Hasil PPM IPB*. 111-118 hal.
- Taiz, L., E. Zeiger. 2010. Plant Physiology. USA. Sinauer Associates Inc. 692p.

Umaternate, G.R., J. Abidjulu, A.D. Wuntu. 2014. Uji metode Olsen dan Bray dalam menganalisis kandungan fosfat tersedia pada tanah sawah di Desa Konarom Barat Kecamatan Dumoga Utara. J. MIPA Unsrat. 3(1): 6-10.

Widyanti, A.S. 2014. Rekomendasi pemupukan kalium pada budidaya cabai merah besar (*Capsicum annuum* L.) di Inceptisol Dramaga. Skripsi. Institut Pertanian Bogor. Bogor.

Widyanti, A.S., A.D. Susila, 2015. Rekomendasi pemupukan kalium pada budidaya cabai merah besar (*Capsicum annuum* L.) di Inceptisol Dramaga. J. Hort. Indonesia. 6(2):65-74.