

KARAKTERISTIK KANDUNGAN VOLUMETRIK AIR DAN KONDUKTIVITAS AIR PORI TANAH LAHAN PERTANIAN DAN BUKAN PERTANIAN DESA CIWARUGA LEMBANG BANDUNG BARAT

IMRAN HILMAN MOHAMMAD, ELEONORA AGUSTINE*

Program Studi Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Padjadjaran, Jl. Raya Bandung-Sumedang Km 21, Jatinangor 45363, Sumedang, Jawa Barat, INDONESIA

Abstrak. Penelitian ini menjelaskan pola kandungan air pori (VWC), konduktivitas air pori dan konduktivitas larutan pori di lahan pertanian dan bukan pertanian pada desa Ciwaruga Bandung secara kualitatif. Penelitian dilakukan dengan teknik coring di daerah pertanian dan bukan pertanian dimana sampel tanah diambil sedalam 20 cm sebanyak enam titik untuk daerah pertanian dan 2 titik di daerah bukan pertanian. Titik contoh diukur setiap 5 cm menggunakan sensor 5TE Decagon untuk mendapatkan variasi nilai VWC, konduktivitas air pori dan konduktivitas larutan pori terhadap kedalaman. Hasil analisis lahan pertanian menunjukkan variasi nilai VWC yang relatif bergerak dari tinggi ke rendah seiring pertambahan kedalaman diikuti dengan pola konduktivitas larutan pori yang berfluktuasi stabil dan mengikuti pola konduktivitas air pori. Sementara lahan bukan pertanian memiliki pola VWC yang berkebalikan dari pola pada lahan pertanian diiringi pola konduktivitas larutan pori yang lebih teratur dan tidak mengikuti pola konduktivitas air pori.

Kata kunci: *Volumetric water content, konduktivitas air pori, konduktivitas larutan pori*

Abstract. This paper presents a preliminary study to analyze the pattern of volumetric water content (VWC), pore water conductivity and solution water conductivity on agricultural and nonagricultural soils in Ciwaruga Bandung qualitatively. The samples were taken by coring on both agricultural and nonagricultural sites for approximately 60 cm depth with six samples was cored on agricultural site and two samples on the nonagricultural site as comparator. The samples were measured per 5 cm segment using Decagon 5TE sensor to obtain the variation of VWC, pore water conductivity and solution electrical conductivity. The results show on agricultural site the value of VWC is decrease as the depth increases while nonagricultural site shows opposite pattern. The patterns for pore water conductivity are relatively same with pore solution conductivity on agricultural site while nonagricultural site shows different pattern for both conductivities.

Keywords: *Volumetric water content, pore water conductivity, solution conductivity*

1. Pendahuluan

Tanah Andosol merupakan tanah yang terbentuk dari material vulkanik, berkembang dari material vulkanik dengan fraksi koloidal didominasi oleh mineral *short range order* dan atau kompleks Al-humus [1]. Definisi tanah Andosol secara taksonomi tanah didasarkan pada keberadaan sub-horizon tanah yang memiliki karakteristik tanah andik dengan ketebalan kumulatif 36 cm atau lebih hingga 60 cm, baik untuk permukaan tanah mineral maupun bagian atas lapisan organik dengan sifat tanah Andik [1]. Keunikan tanah vulkanik Andosol juga tercermin pada sifat mineralogi, fisis, kimia dan biologi nya [2]. Sifat fisis tanah Andosol dicirikan antara lain oleh nilai densitas bulk yang relatif rendah, sekitar 0,9 yang merupakan nilai paling rendah diantara tanah mineral lainnya, dengan demikian hanya tanah organik dan horizon organik yang memiliki nilai densitas bulk lebih rendah dari Andosol. Rendahnya nilai densitas bulk ini disebabkan oleh porositas tinggi akibat perkembangan struktur oleh mineral bukan kristalin dan akumulasi dari sejumlah besar humus [2].

*Email: leo@geophys.unpad.ac.id

Salah satu metode dalam mengukur sifat-sifat fisis tanah adalah dengan mengukur konstanta dielektrik dan konduktivitas listrik tanah. Penelitian mengenai dielektrik dan konduktivitas listrik tanah telah banyak dilakukan. Rhoades, dkk (1989) mengembangkan model untuk mendeskripsikan hubungan antara konduktivitas listrik bulk tanah, kandungan air volumetrik (*volumetric water content*, VWC), dan konduktivitas listrik air tanah [3]. Sementara Sudduth dkk. (2005) mengukur konduktivitas listrik semu (*apparent electrical conductivity*) untuk memetakan secara tidak langsung sifat-sifat fisis dan kimia dari berbagai jenis tanah menggunakan metode induksi elektromagnetik [4]. Pengukuran elektromagnetik yang bersifat *nondestructive test* oleh Noborio (2001) bertujuan untuk mengukur kandungan air dalam tanah dan konduktivitas listrik tanah [5]. Penggunaan metode elektrik dan elektromagnetik untuk menyelidiki sifat-sifat fisika dan kimia tanah telah dilakukan sejak dekade 80-an, dan terus dilakukan secara ekstensif dengan perkembangan yang cukup pesat hingga saat ini [6, 7].

Penelitian ini bertujuan mengkarakterisasi sifat listrik berupa permitivitas dielektrik dan konduktivitas listrik yang berkorelasi langsung dengan konduktivitas air pori tanah sebagai indikator adanya indikasi saturasi pupuk. Ciwaruga merupakan salah satu desa yang berada di wilayah Lembang dengan kondisi geologi tersusun oleh lapisan tufa pasir yang berasal dari erupsi Gunung Tangkuban Parahu, mencirikan lahan pertanian yang terbentuk dari tanah vulkanik yang disebut juga sebagai tanah Andosol [8]. Secara umum desa Ciwaruga merupakan desa dengan produksi utama bidang pertanian dan memiliki komoditas unggulan hortikultura [9]. Sifat listrik tanah yang diukur pada penelitian ini selanjutnya dianalisis menggunakan pendekatan kualitatif untuk meneliti karakteristik perubahan tanah akibat penggunaan tanah sebagai lahan pertanian dan perbandingannya dengan tanah yang belum digunakan sebagai lahan pertanian.

Analisis kesuburan lahan pertanian Ciwaruga menggunakan parameter fisika tanah seperti EC dan permitivitas dielektrik telah dilakukan diantaranya oleh Kusumagiani dkk (2016) dan Rakhmawati dkk (2017) [10]. Pada penelitiannya, dianalisis perubahan nilai EC dan VWC pada lahan pertanian di desa Ciwaruga yang diberikan perlakuan berupa pemberian pupuk dengan pengukuran secara berkala. Sementara Rakhmawati dkk (2017) memetakan batas lapisan antar tanah yang terindikasi tercemar pupuk dengan menggunakan *bulk conductivity* dan *munsell color* [11]. Pada penelitian ini akan dilihat kecenderungan pola dari data pada lahan pertanian dan non pertanian menggunakan parameter VWC, konduktivitas air pori dan konduktivitas larutan pori yang disesuaikan dengan tanah Andosol. Penelitian ini merupakan studi pendahuluan dalam mengidentifikasi karakteristik VWC dan konduktivitas air dan larutan pada lahan pertanian dan non pertanian secara kualitatif serta jumlah sampel yang sangat terbatas. Pengembangan dari penelitian ini sangat diperlukan dalam usaha memahami karakteristik kelistrikan tanah pertanian. Penambahan jumlah sampel di sejumlah area pertanian yang berbeda sangat penting untuk melihat pola signifikan karakteristik lahan pertanian dan non pertanian pada berbagai jenis tanah. Selain itu model fisis yang *feasible* juga penting dikembangkan dalam menjelaskan proses terjadinya sebaran nilai konduktivitas dan VWC pada tanah.

2. Metode Penelitian

Sampel tanah diambil dari lahan pertanian tradisional Desa Ciwaruga, Bandung Barat. Lokasi pengambilan sampel ini dipilih karena lokasi tersebut telah digunakan sebagai lahan pertanian lebih dari 10 tahun, dengan penanaman berkala setiap caturwulan yang menyebabkan lahan tersebut telah terpapar pupuk. Sampel yang diambil pada lahan pertanian tersebut sebanyak enam titik yang memiliki lokasi berdekatan dengan menggunakan pipa berdiameter 5 cm dengan kedalaman hingga

45 cm dari permukaan tanah, untuk memenuhi target karakteristik lapisan tanah atas yang memiliki kedalaman minimum 20 cm dan maksimum 60 cm. Sampel kemudian diukur dielektrik, temperatur dan konduktivitas *bulk* nya menggunakan sensor Decagon 5TE. Sebagai pembanding, dua buah sampel tanah A1 dan A2 diambil dari zona non pertanian (dengan asumsi tanah di daerah tersebut tidak/belum terpapar pupuk) dan diukur sifat kelistrikannya menggunakan sensor 5TE. Perbandingan antara tanah pada lahan pertanian dan bukan lahan pertanian dianalisis secara kualitatif untuk melihat perbedaan karakteristik sifat kelistrikan tanah.

Sensor 5TE merupakan sensor kandungan air, konduktivitas bulk dan temperatur tanah yang dikembangkan oleh Decagon (2014) [12]. Sensor menghitung kandungan air dalam tanah dengan mengkonversi pembacaan dielektrik pada frekuensi pengukuran 70 MHz menggunakan persamaan Topp sebagai berikut [12, 13].

$$VWC = 4,3 \times 10^{-6} \epsilon_a^3 - 5,5 \times 10^{-6} \epsilon_a^2 + 2,92 \times 10^{-2} \epsilon_a - 5,3 \times 10^{-2} \quad (1)$$

dengan VWC adalah *volumetric water content* atau kadar air volumetrik tanah dan ϵ_a adalah permitivitas dielektrik tanah yang dibaca langsung oleh sensor 5TE. Kadar air dalam tanah dinyatakan sebagai fraksi dari total volume tanah yang mengandung air. Nilai permitivitas dielektrik, konduktivitas tanah bulk dan temperatur yang didapat dari sensor 5TE lewat pengukuran langsung dapat digunakan untuk menghitung konduktivitas air pori berdasarkan metode yang dikembangkan oleh Hilhorst (2000), yang merupakan indikator yang baik dari konsentrasi zat terlarut di tanah [14]. Hubungan linier antara permitivitas dielektrik bulk dan konduktivitas bulk tanah digunakan Hilhorst (2000) untuk mencari nilai konduktivitas pori berdasarkan persamaan berikut [12, 14].

$$\sigma_p = \frac{\epsilon_p \sigma_b}{\epsilon_b - \epsilon_{b=0}} \quad (2)$$

dengan σ_p adalah konduktivitas air pori, ϵ_p adalah permitivitas dielektrik air pori, ϵ_b merupakan permitivitas dielektrik tanah yang terukur langsung oleh sensor 5TE dan $\epsilon_{b=0}$ adalah bagian real permitivitas dielektrik tanah ketika nilai konduktivitas bulk tanah sama dengan nol. Nilai permitivitas dielektrik air pori ϵ_p dapat ditentukan menggunakan persamaan berikut [12].

$$\epsilon_p = 60,3 - 0,37(t_{soil} - 20) \quad (3)$$

$\epsilon_{b=0}$ merupakan suatu nilai konstanta. Hilhorst menyarankan nilai $\epsilon_{b=0}$ sebesar 4.1 berdasarkan hasil empirik secara global yaitu untuk berbagai jenis tanah, sementara menurut Decagon (2014) nilai 6.0 merupakan nilai yang paling optimal untuk jenis tanah organik dan pertanian [12]. Pada penelitian ini nilai $\epsilon_{b=0}$ yang digunakan adalah nilai yang disarankan Decagon yaitu 6.

Suatu besaran konduktivitas lain yang dinamakan konduktivitas listrik larutan pori (*pore solution EC*) adalah konduktivitas listrik air pori yang keluar dari suatu tanah tersaturasi [12]. Besaran ini diukur dengan mengalirkan air destilasi ke sampel tanah hingga sampel tersaturasi, dan air dikeluarkan dari tanah untuk diukur konduktivitas listriknya. Dengan asumsi air destilasi memiliki konduktivitas nol, besaran ini dapat diukur menggunakan persamaan sebagai berikut [12].

$$solutionEC = \frac{\sigma_p VWC}{\phi} \quad (4)$$

dengan σ_p menyatakan konduktivitas air pori, σ_d menyatakan konduktivitas listrik air distilasi, dan ϕ menyatakan porositas tanah yang dapat diukur sebagai berikut [12];

$$\phi = 1 - \frac{\rho_b}{\rho_s} \quad (5)$$

Pada persamaan (5) ρ_b adalah densitas bulk dari tanah dan ρ_s adalah densitas mineral yang secara umum memiliki nilai 2,65 g/cm³. Takahashi dan Shoji (2002) dan Nanzyo (2003) menyatakan bahwa pada umumnya tanah Andosol memiliki nilai densitas bulk sekitar 0,9 atau lebih rendah [1, 2]. Dengan menggunakan nilai ini, maka porositas tanah Andosol dapat dihitung secara umum sebagai berikut:

$$\phi = 1 - \frac{0,9}{2,65} = 0,66 \quad (6)$$

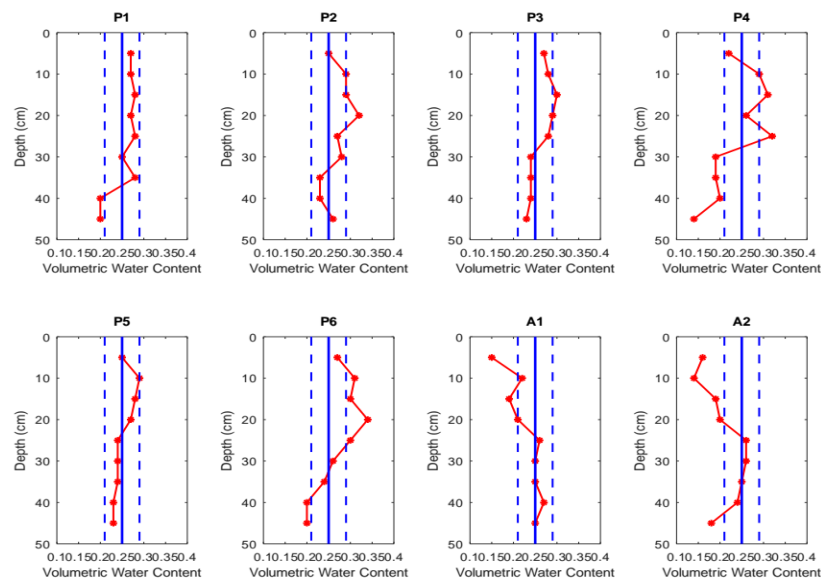
Analisis yang dilakukan dalam penelitian ini adalah analisis pola yang bersifat kualitatif untuk data VWC, konduktivitas air pori dan konduktivitas larutan pori tanah pada lahan pertanian maupun tanah dari lahan bukan pertanian.

3. Hasil dan Diskusi

Hasil pengukuran variasi nilai besaran fisis berupa kandungan air volumetrik (*volumetric water content*, VWC), konduktivitas air pori (*pore water electric conductivity*) dan konduktivitas larutan pori (*solution pore electric conductivity*) terhadap kedalaman untuk seluruh titik disajikan pada Gambar 1, 2 dan 3. Kedalaman hingga 20 – 60 cm biasanya diidentifikasi sebagai lapisan atas tanah yang merupakan *area of interest* dalam studi mengenai pertanian. Nilai rata-rata dan simpangan baku VWC, konduktivitas air pori dan konduktivitas larutan pori keseluruhan sampel juga dihitung untuk melihat bagaimana pola fluktuasi besaran-besaran tersebut jika dibandingkan nilai rata-rata dan simpangannya. Nilai rata-rata VWC keseluruhan sampel adalah 0,25 dengan simpangan baku 0,04, sementara konduktivitas air pori memiliki nilai rata-rata 5,55 dengan simpangan baku 1,74 dan konduktivitas larutan pori sebesar 2,06 dengan simpangan baku 0,45.

Gambar 1 memperlihatkan variasi nilai VWC pada sampel tanah pertanian maupun tanah non pertanian. Nilai VWC diperlihatkan oleh asterik merah, sedangkan garis tegas biru menunjukkan nilai rata-rata VWC keseluruhan sampel sebesar 0,25, dengan simpangan bawah sebesar 0,21 dan simpangan atas sebesar 0,29 yang ditunjukkan garis putus-putus biru. Secara umum variasi VWC pada enam sampel lahan pertanian (P1, P2, P3, P4, P5, P6) memperlihatkan pola yang cenderung mirip, yaitu dimulai dengan adanya nilai yang tinggi di atas nilai rata-rata pada kedalaman dangkal (sekitar 25 cm dari permukaan) dan memiliki kecenderungan menurun di bawah nilai rata-rata pada kedalaman di bawah 25 cm dari permukaan. Penurunan VWC dengan pola yang relatif seragam pada seluruh sampel lahan pertanian memperlihatkan adanya ciri khusus, yaitu adanya indikasi penyerapan air pada kedalaman di bawah 25 cm dari permukaan tanah. Penyerapan air ini diduga berkaitan dengan aktivitas *fertilizer* atau pemupukan yang cukup intensif pada lahan tersebut, sehingga membentuk lapisan yang relatif kuat dalam menyerap kandungan air pori.

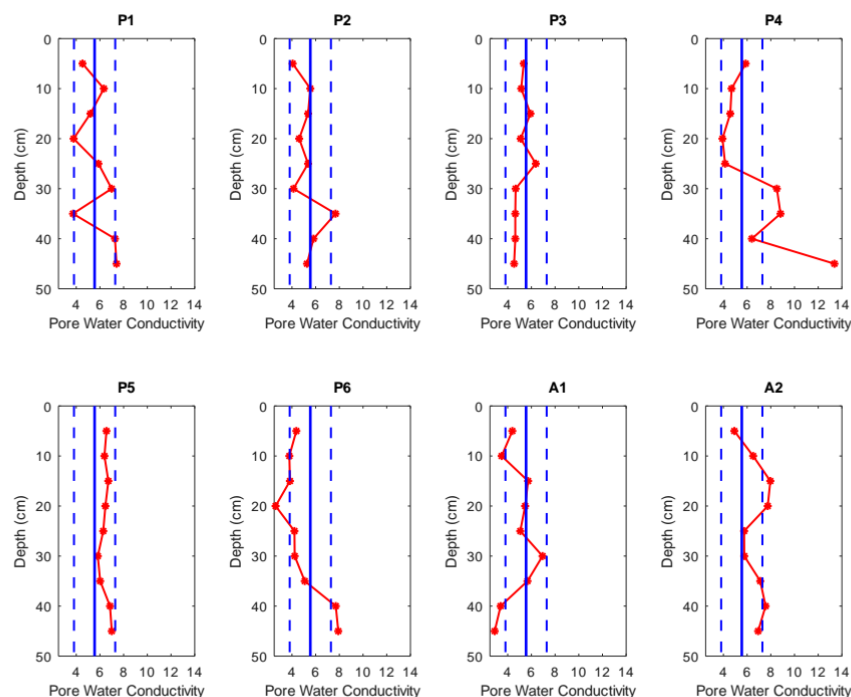
Sebagai pembanding terhadap hasil yang diperoleh pada lahan pertanian, sampel A1 dan A2 yang merupakan lahan non pertanian (dengan demikian tidak terdapat pemupukan intensif pada selang waktu yang cukup lama) memiliki pola yang berkebalikan dengan pola lahan pertanian. Sampel A1 dan A2 memperlihatkan nilai VWC yang rendah (di bawah nilai rata-rata pada kedalaman hingga 25 cm dari permukaan tanah) untuk kemudian memiliki kecenderungan meningkat pada kedalaman di bawah 25 cm dari permukaan tanah. Pola rendah pada kedalaman hingga 25 cm diperkirakan karena keringnya lapisan bagian atas, sehingga air berakumulasi di lapisan bawah (di bawah 25 cm dari permukaan).



Gambar 1. Pola *volumetric water content* terhadap kedalaman dari sampel tanah pertanian dan non pertanian. Garis biru tegas menunjukkan nilai rata-rata sedangkan garis putus-putus menunjukkan simpangan baku

Karakteristik lain yang teridentifikasi pada pola VWC lahan non pertanian adalah nilai VWC yang lebih rendah dari nilai simpangan baku bawah pada lapisan atas, dan kemudian cenderung meningkat pada kedalaman di atas 25 cm. Karakteristik ini tidak terlihat pada lahan pertanian, dimana nilai VWC relatif *smooth* berada di sekitar nilai rata-rata baik pada pola menanam maupun menurun. Meskipun demikian, terdapat beberapa titik lahan pertanian dengan nilai VWC di atas simpangan baku pada kedalaman sekitar 15 – 30 cm dari atas permukaan tanah. Nilai VWC yang tinggi tersebut diikuti penurunan nilai VWC. Pada titik P4, nilai VWC lapisan atas dan lapisan bawah memiliki nilai di luar simpangan baku, meskipun pola kecenderungan yang diperlihatkan masih memiliki karakteristik pola VWC tanah pertanian lainnya.

Konduktivitas air pori memiliki kecenderungan fluktuatif baik pada lahan pertanian maupun pada lahan non pertanian sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2. Baik pada lahan pertanian maupun pada lahan non pertanian, kecenderungan konduktivitas air pori adalah fluktuatif dengan rentang di sekitar nilai rata-rata dan tidak melebihi batas simpangan. Pada Gambar 2 terlihat P1 sampai dengan P6 memiliki kecenderungan fluktuatif yang berkisar diantara batas atas dan batas bawah simpangan baku, dengan satu nilai pada P4 bagian bawah memiliki harga sangat tinggi melebihi batas atas. Konduktivitas air pori merupakan indikator konsentrasi zat terlarut pada tanah, sehingga nilai yang sangat besar pada lapisan bawah P4 mengindikasikan adanya konsentrasi zat terlarut yang cukup signifikan. Pada lahan non pertanian A1 dan A2 juga terlihat dengan jelas bagaimana variasi nilai konduktivitas air pori yang berkisar di sekitar nilai rata-rata dan tidak menembus batas atas dan bawah simpangan baku.

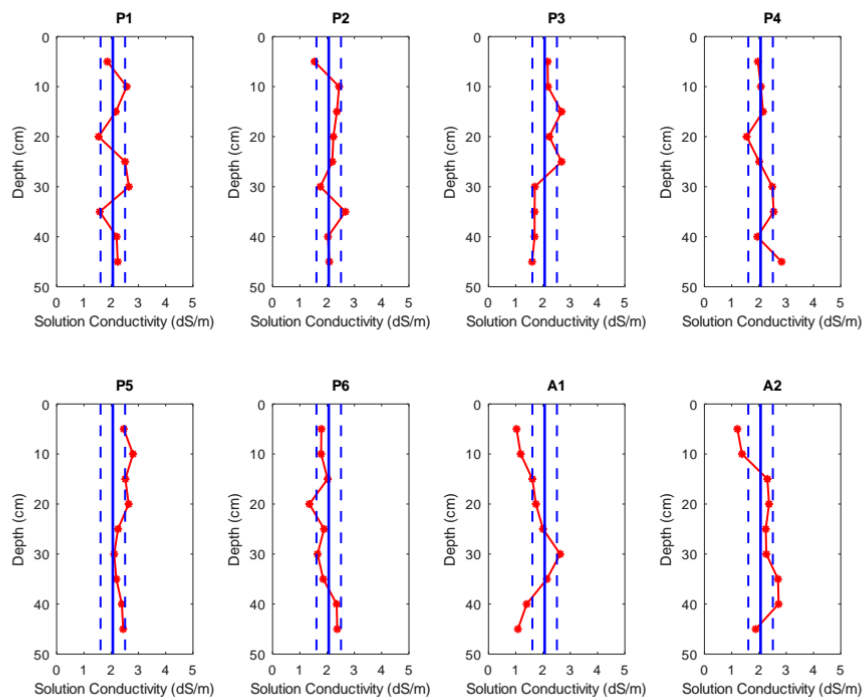


Gambar 2. Pola konduktivitas air pori terhadap kedalaman dari sampel tanah pertanian dan non pertanian. Garis biru tegas menunjukkan nilai rata-rata sedangkan garis putus-putus menunjukkan simpangan baku.

Pola konduktivitas larutan pori antara lahan pertanian dengan lahan non pertanian diperlihatkan pada Gambar 3. Pada lahan pertanian terlihat kecenderungan nilai konduktivitas air pori yang berfluktuasi dalam rentang simpangan baku atas dan bawah. Beberapa titik sampel memperlihatkan nilai konduktivitas larutan pori yang melampaui nilai simpangan atas, namun demikian simpangannya tidak terlalu jauh. Dapat disimpulkan kecenderungan nilai konduktivitas larutan pori adalah stabil dengan harga fluktuasi masih berada pada rentang simpangan baku atas dan bawah. Sementara pada lahan non pertanian terlihat kecenderungan konduktivitas larutan pori yang mula-mula berada di bawah harga simpangan baku bawah yang kemudian meningkat hingga mencapai suatu nilai maksimum untuk kemudian perlahan-lahan menurun kembali. Pola kecenderungan ini; yaitu nilai

fluktuasi yang relatif stabil pada rentang tertentu pada lahan pertanian dan nilai yang meningkat perlahan-lahan hingga mencapai suatu puncak maksimum kemudian menurun perlahan lahan pada lahan non pertanian, teramati di semua sampel.

Perbandingan pola konduktivitas air pori dan konduktivitas larutan pori memperlihatkan adanya kesamaan pola fluktuasi pada sampel lahan pertanian. Pola fluktuasi konduktivitas larutan pori pada lahan pertanian relatif stabil, namun memiliki kesamaan pola dengan fluktuasi konduktivitas air pori. Hal tersebut relatif tidak terlihat pada lahan non pertanian. Meskipun pola fluktuasi konduktivitas air tanah terlihat tajam, pola konduktivitas larutan pori pada lahan pertanian cenderung meningkat perlahan untuk kemudian menurun secara gradual.



Gambar 3. Pola konduktivitas larutan pori terhadap kedalaman dari sampel tanah pertanian dan non pertanian. Garis biru tegas menunjukkan nilai rata-rata sedangkan garis putus-putus menunjukkan simpangan baku.

Berdasarkan kecenderungan pola yang diperlihatkan pada Gambar 1, 2 dan 3, karakteristik lahan pertanian dapat diidentifikasi dari nilai VWC nya yang memiliki kecenderungan tinggi pada lapisan atas untuk kemudian perlahan lahan menurun pada lapisan bawah. Kecenderungan ini teramati di seluruh sampel lahan pertanian. Sementara pada lahan non pertanian memiliki kecenderungan mula-mula memiliki nilai rendah di bawah batas simpangan baku, untuk kemudian perlahan-lahan naik sampai kedalaman tertentu dan kemudian gradual menurun. Pola VWC yang teramati pada lahan pertanian dan non pertanian relatif konsisten, meskipun terdapat fluktuasi dan jumlah sampel masih terlalu sedikit. Konsistensi pola konduktivitas air tanah tidak terlihat baik pada lahan pertanian maupun lahan non pertanian, dikarenakan nilai konduktivitas air tanah pada seluruh sampel memiliki kecenderungan berfluktuasi yang sama di sekitar rentang simpangan baku atas dan

simpangan baku bawah. Meskipun demikian, terdapat nilai yang sangat tinggi pada kedalaman 45 cm di titik P4, mengindikasikan adanya konsentrasi zat terlarut yang cukup signifikan dibandingkan lingkungan sekitarnya. Konsistensi pola terlihat pula pada konduktivitas larutan pori yang memperlihatkan pola fluktuasi stabil pada rentang simpangan baku pada lahan pertanian dan pola meningkat hingga harga maksimum tertentu untuk kemudian menurun pada lahan non pertanian. Terdapat pula indikasi kesamaan pola fluktuasi antara konduktivitas air pori dan konduktivitas larutan pori pada lahan pertanian, namun kesamaan pola tersebut relatif tidak teramati pada lahan non pertanian.

4. Kesimpulan

Pada makalah ini telah dipaparkan hasil mengenai analisis pola VWC, konduktivitas air pori dan konduktivitas larutan pori tanah pada lahan pertanian dan bukan pertanian di desa Ciwaruga Bandung. Hasil analisis memperlihatkan terdapat kecenderungan yang membedakan antara lahan pertanian dan lahan bukan pertanian di Ciwaruga. Pada lahan pertanian dicirikan dengan nilai VWC yang relatif bergerak dari tinggi ke rendah seiring pertambahan kedalaman, diikuti dengan nilai konduktivitas larutan pori yang berfluktuasi stabil di sekitar batas simpangan. Sementara pada lahan bukan pertanian memiliki pola VWC yang berkebalikan dari pola pada lahan pertanian, yaitu memiliki nilai yang relatif sangat rendah pada lapisan atas yang kemudian perlahan-lahan meningkat pada lapisan bawah. Pola konduktivitas air pori cenderung tidak stabil dan tidak dapat dijadikan patokan dalam pengkarakteristikan lahan pertanian dan non pertanian. Pola fluktuasi konduktivitas larutan pori pada lahan pertanian, meskipun relatif stabil, memiliki kesamaan pola dengan konduktivitas air porinya. Kemiripan pola fluktuasi antara konduktivitas air pori dan konduktivitas larutan pori relatif tidak teramati pada lahan non pertanian.

Daftar Pustaka

- [1] Takahashi, T., & Shoji, S. (2002). Distribution and classification of volcanic ash soils. *Global Environmental Research*, 6(2), 83-98.
- [2] Nanzyo, M. (2002). Unique properties of volcanic ash soils. *Global Environmental Research – English Edition*-, 6(2), 99-112.
- [3] Rhoades, J. D., Manteghi, N. A., Shouse, P. J., & Alves, W. J. (1989). Soil electrical conductivity and soil salinity: New formulations and calibrations. *Soil Science Society of America Journal*, 53(2), 433-439.
- [4] Sudduth, K. A., Kitchen, N. R., Wiebold, W. J., Batchelor, W. D., Bollero, G. A., Bullock, D. G., & Thelen, K. D. (2005). Relating apparent electrical conductivity to soil properties across the north-central USA. *Computers and Electronics in Agriculture*, 46(1), 263-283.
- [5] Noborio, K. (2001). Measurement of soil water content and electrical conductivity by time domain reflectometry: a review. *Computers and electronics in agriculture*, 31(3), 213-237.
- [6] Corwin, D. L., & Lesch, S. M. (2003). Application of soil electrical conductivity to precision agriculture. *Agronomy Journal*, 95(3), 455-471.
- [7] Corwin, D. L., & Lesch, S. M. (2005). Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture. *Computers and electronics in agriculture*, 46(1), 11-43.
- [8] Silitonga, P. H. (1973). Peta Geologi Lembar Bandung, Jawa, skala 1: 100.000. *Direktorat Geologi, Bandung*.

- [9] Ruswandi, A., Rustiadi, E., & Mudikdjo, K. (2007). Konversi Lahan Pertanian Dan Dinamika Perubahan Penggunaan Lahan Di Kawasan Bandung Utara. *Jurnal Tanah dan Lingkungan*, 9(2).
- [10] Kusumagiani, T. A., Agustine, E., & Fitriani, D. (2016). Analisa Perubahan Nilai Fisika Tanah Pada Lahan Terkondisi Akibat Penambahan Pupuk Abnormal Berdasarkan Metode Kelistrikan Batuan. *Prosiding Seminar Kontribusi Fisika 2016*.
- [11] Rakhmawati, L. A., Agustine, E., Fitriani, D., & Hasanah, M. U. (2017, October). Penentuan Lapisan Terkontaminasi Residu Pupuk Menggunakan Metoda Kelistrikan Pada Lahan Pertanian Cepat Panen. In *PROSIDING SEMINAR NASIONAL FISIKA (E-JOURNAL)* (Vol. 6, pp. SNF2017-ERE).
- [12] Decagon Device. 2014. 5TE Water Content. EC, and Temperature Sensor. Decagon Devices, Inc.
- [13] Topp, G. C., Davis, J. L., & Annan, A. P. (1980). Electromagnetic determination of soil water content: Measurements in coaxial transmission lines. *Water resources research*, 16(3), 574-582.
- [14] Hilhorst, M.A. (2000). A pore water conductivity sensor. *Soil Science Society of America Journal*, 64(6), 1922-1925.