

Perubahan Konduktivitas Hidraulik dan Daya Hantar Listrik Tanah Akibat Pemberian Urea dan Bahan Organik pada Tanah Ultisol

Changes of Hydraulic and Soil Electrical Conductivity Following Urea and Organic Matter Application in Ultisol Soil

Ida Suryani

*) E-mail korespondensi: idasuryani8311@gmail.com

Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Cokroaminoto Makassar, Jl. Perintis Kemerdekaan KM. 10 Tamalanrea, Makassar 90245, Indonesia

ABSTRAK

Penelitian bertujuan untuk mengetahui pengaruh urea yang diberikan bersama dengan bahan organik bernisbah C/N tinggi (50-70) atau C/N rendah (10-20) terhadap konduktivitas hidraulik dan daya hantar listrik pada tanah Ultisol. Penelitian disusun dalam Rancangan Petak Terpisah. Petak utama adalah bahan organik, yaitu tanpa bahan organik, daun calopogonium, dan jerami padi 1,275 x 10⁻⁸ kg/ha, setara dengan 15,3 g/pipa. Anak petak adalah dosis urea yang terdiri atas 0, 100, dan 300 kg/ha masing-masing setara dengan 0 g/pipa, 0,0425 g/pipa dan 0,0825 g/pipa, yang diaplikasi pada tanah Ultisol. Contoh tanah Ultisol diambil pada kedalaman 0 -120 m yang dikeringudarkan, lalu diayak, dicampur dengan TSP, bahan organik, dan urea sesuai perlakuan, dimasukkan dalam tabung (pipa) PVC yang bagian dasarnya ditutup dengan kain kasa halus untuk menahan tanah namun tetap memungkinkan perkolasi. Inkubasi dilakukan selama 2 minggu. Pengamatan dilakukan setelah masa inkubasi selesai, meliputi konduktivitas hidraulik dan daya hantar listrik. Pemberian bahan organik dan urea dosis 300 kg/ha dapat menaikkan daya hantar listrik tanah. Pemberian bahan organik utamanya yang bernisbah C/N tinggi (jerami padi) meningkatkan konduktivitas hidraulik. Daya hantar listrik atau electrical conductivity (EC) merupakan indikator yang baik dalam menjelaskan pengaruh dispersif urea maupun pengaruh flokulasi bahan organik. Daya hantar listrik yang tinggi selalu menghasilkan konduktivitas hidraulik yang tinggi pada tanah Ultisol.

Kata kunci: urea; bahan organik; konduktivitas hidraulik; daya hantar listrik; ultisol.

ABSTRACT

This study aimed to determine the effect of urea added with organic matter in a high C/N (50-70) or low C/N (10-20) ratio on the hydraulic conductivity and electrical conductivity of Ultisol soil. The research was arranged in a Split Plot Design. The main plot is organic matter, ie, without organic matter, calopogonium leaves, and rice straw 1,275 x 10⁻⁸ kg/ha, equivalent to 15.3 g/pipe. Sub-plots were urea doses consisting of 0, 100, and 300 kg/ha, equivalent to 0 g/pipe, 0.0425 g/pipe, and 0.0825 g/pipe, respectively, applied to Ultisol soil. Sample of Ultisol soil was taken at a depth of 0 -120 m which were air-dried, then sifted, mixed with TSP, organic matter, and urea according to treatment. The sample was put in a PVC tube (pipe) with the bottom covered with fine gauze to hold the soil but still allow percolation. Incubation was carried out for two weeks. Observations were made after the incubation period, including hydraulic conductivity and electrical conductivity. The application of organic matter and urea at a dose of 300 kg/ha can increase the electrical conductivity of the soil. Adding the main organic matter with a high C/N ratio (rice straw) increases the hydraulic conductivity. Electrical conductivity (EC) is a good indicator in explaining the dispersive effect of urea and the effect of flocculation of organic matter. High electrical conductivity always results in high hydraulic conductivity in Ultisol soils.

Keywords: urea; organic matter; hydraulic conductivity; electrical conductivity; ultisol.

I. PENDAHULUAN

Usaha peningkatan produksi pertanian menyebabkan pupuk urea memegang peranan yang cukup penting. Namun demikian, pengaruh negatif dari pupuk urea terhadap tanah kurang mendapat perhatian. Sebagian petani di Indonesia, khususnya di Kabupaten Pangkep Sulawesi Selatan, mengeluhkan pemakaian urea. Pemakaian secara terus menerus pada lahan sawah tadah hujan dapat merugikan struktur tanah yang sangat penting bagi tanaman musim kering (*Cass et al.*, 1994).

Salah satu penyebab kerusakan struktur tanah akibat pemberian urea adalah terdispersinya partikel-partikel liat, yang berakibat pada hancurnya agregat tanah. Dispersi tanah akibat pemberian urea yang digunakan berpengaruh terhadap kadar air pada saat pengolahan serta sifat tanah yang bersangkutan (Hainun, 1997). Salah satu konsekuensi dari pengaruh dispersif urea adalah menurunnya konduktivitas hidraulik karena berkurangnya pori pengantar air.

Pupuk nitrogen, khususnya urea, merupakan sarana produksi yang vital untuk produksi pangan, terlebih pada tanah marginal seperti Ultisol. Namun, selama ini studi menyangkut pengaruh urea terhadap tanah, lebih difokuskan pada sifat kimia dan kesuburan tanah, sedangkan pengaruhnya terhadap sifat fisik belum mendapatkan perhatian yang cukup. Ultisol adalah tanah dengan horison argilik, bersifat masam dengan kejenuhan basa <35 % pada kedalaman 1,8 m dari permukaan tanah (Soil Survey Staff, 1975). Nilai kejenuhan basa ini yang membedakannya dengan tanah Alfisol yang >35 %.

Sifat fisik dan kimia Ultisol menurut Mohr *et al* (1972) adalah kedalaman sedang (1-2 m), warna merah sampai kuning (chroma meningkat dengan bertambahnya kedalaman), tekstur halus pada horison Bt (kandungan liat maksimal pada horison ini), struktur pada horison Bt berbentuk blocky, konsistensi teguh, permeabilitas lambat sampai baik, erodibilitas tinggi, pH <5,5, kapasitas tukar kation <24 cmol kg⁻¹, dan kandungan bahan organik rendah sampai sedang. Tanah ini mudah terdispersi bila ada tekanan dari luar misalnya pengolahan tanah atau terpaan air hujan.

Ultisol mempunyai beberapa kendala dalam pengelolaannya. Menurut Munir (1996), kendala tersebut antara lain (1) adanya horison B argilik yang membatasi pertumbuhan dan penetrasi akar tanaman; (2) beberapa sifat kimia tanah antara lain kemasaman tanah, kejenuhan Al dapat tukar yang tinggi, Kapasitas Tukar Kation (KTK) rendah, kandungan nitrogen, fosfor dan kalium yang rendah, dan (3) sangat peka terhadap erosi. Berlawanan dengan urea, bahan organik yang terdekomposisi dapat membantu flokulasi, sehingga menstimulasi pembentukan dan stabilisasi agregat. Dekomposisi bahan organik antara lain ditentukan oleh C/N dari sumber bahan organik bersangkutan. Adanya pengaruh yang kontras antara urea dan bahan organik dalam hal proses dispersi dan flokulasi ini, menyebabkan pengaruh kombinasi keduanya menjadi menarik, terutama jika sumber bahan organik yang digunakan memiliki nilai C/N yang berbeda.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di laboratorium Fisika Tanah, sedangkan analisis sifat kimia tanah di Laboratorium Kimia Tanah Fakultas Pertanian Universitas Hasanuddin,

berlangsung Juli hingga Nopember 2019. Bahan yang digunakan tanah Ultisol Malino, air suling, urea, TSP, daun calopogonium, dan jerami padi yang dihaluskan.

Alat yang digunakan adalah silinder yang terbuat dari pipa PVC (diameter 57 mm, tinggi 300 mm) sebanyak 27 buah, rak kayu, kain kasa halus untuk menahan tanah, karet, corong plastik, gelas penampung suspensi larutan, gelas plastik, selang plastik, kantong plastik, ayakan tanah yang lubangnya berdiameter 5 mm, mistar, timbangan elektronik, stopwatch, gelas ukur, tissue dan seperangkat alat untuk analisis tekstur.

1. Desain Penelitian

Penelitian ini didesain menurut Rancangan Petak Terpisah. Petak utamanya adalah pemberian bahan organik, yaitu tanpa bahan organik, daun calopogonium dan jerami padi sebanyak $1,275 \times 10^{-8}$ kg/ha, yang setara dengan 15,3 g/pipa masing masing dinotasikan sebagai B₁ B₂ dan B₃. Anak petaknya adalah pemberian urea, yakni dosis 0,100 dan 300 kg masing masing setara dengan 0 g/pipa, 0,0425 g/pipa dan 0,0825 g/pipa dan diberi notasi U₁, U₂, U₃.

2. Pelaksanaan Penelitian

a. Penyiapan tanah

Contoh tanah Ultisol diambil pada kedalaman 0 – 120 mm, dikering-udarkan, kemudian diayak dengan ayakan berdiameter 5 mm. Contoh tanah tersebut diambil sebanyak 0,510 kg, dengan bulk Density 1 mg m^{-3} dicampur secara merata dengan pupuk TSP sebanyak 200 kg/ha, setara dengan 0,0825 g/pipa, bahan organik (daun calopogonium, dan jerami padi yang telah dihaluskan) dan urea sesuai dengan perlakuan. Setelah dicampur selanjutnya dimasukkan ke dalam tabung PVC. Bagian dasar tabung ditutup dengan kain kasa halus untuk menahan tanah di dalam tabung, namun tetap memungkinkan untuk melakukan air perkolasi.

b. Inkubasi Contoh Tanah

Contoh tanah yang telah dicampur dalam tabung diletakkan di atas cawan petridish yang bagian bawahnya dilapisi kertas koran dan bagian atas diberi kertas tissue. Selanjutnya secara perlahan – lahan contoh tanah tersebut dibasahi dengan air suling dengan menggunakan gelas ukur. Pemberian air dihentikan setelah air mulai menetes melalui kain kasa halus. Setelah itu pipa tersebut didudukkan pada rak kayu yang didesain khusus pada bagian bawah pipa diberi corong plastik dan gelas aqua untuk menampung tetesan air (perkolat). Air yang sempat menetes disiramkan kembali ke dalam tanah dalam tabung. Pemberian air ini dilakukan untuk mempercepat reaksi antara tanah, bahan organik, urea dan TSP. Tanah tersebut selanjutnya diinkubasikan selama 2 minggu.

c. Pengamatan Konduktivitas Hidraulik

Pengukuran konduktivitas hidraulik dilakukan dalam keadaan jenuh air, K_s , dengan menggunakan kolom tanah, dengan panjang L (mm) dan luas (mm^2). Perbedaan *hydraulik head* dipertahankan, $H_2 - H_1$. Metode ini disebut sebagai *constan head method*. K_s dihitung dengan Persamaan 1.

$$K_s = \frac{VL}{[At(H_2-H_1)]} \text{-----} (1)$$

Dimana V adalah volume air yang mengalir melalui sampel selama waktu t . Pengukuran konduktivitas hidraulik, dilakukan pada 6 jam, 1, 3, 7 dan 14 hari setelah inkubasi.

d. Pengukuran Daya Hantar Listrik (EC)

Pengukuran daya hantar listrik dilakukan dari air peroklat yang tertampung pada masing-masing waktu perlakuan. Pengukuran daya hantar listrik menggunakan Conductivitymeter.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

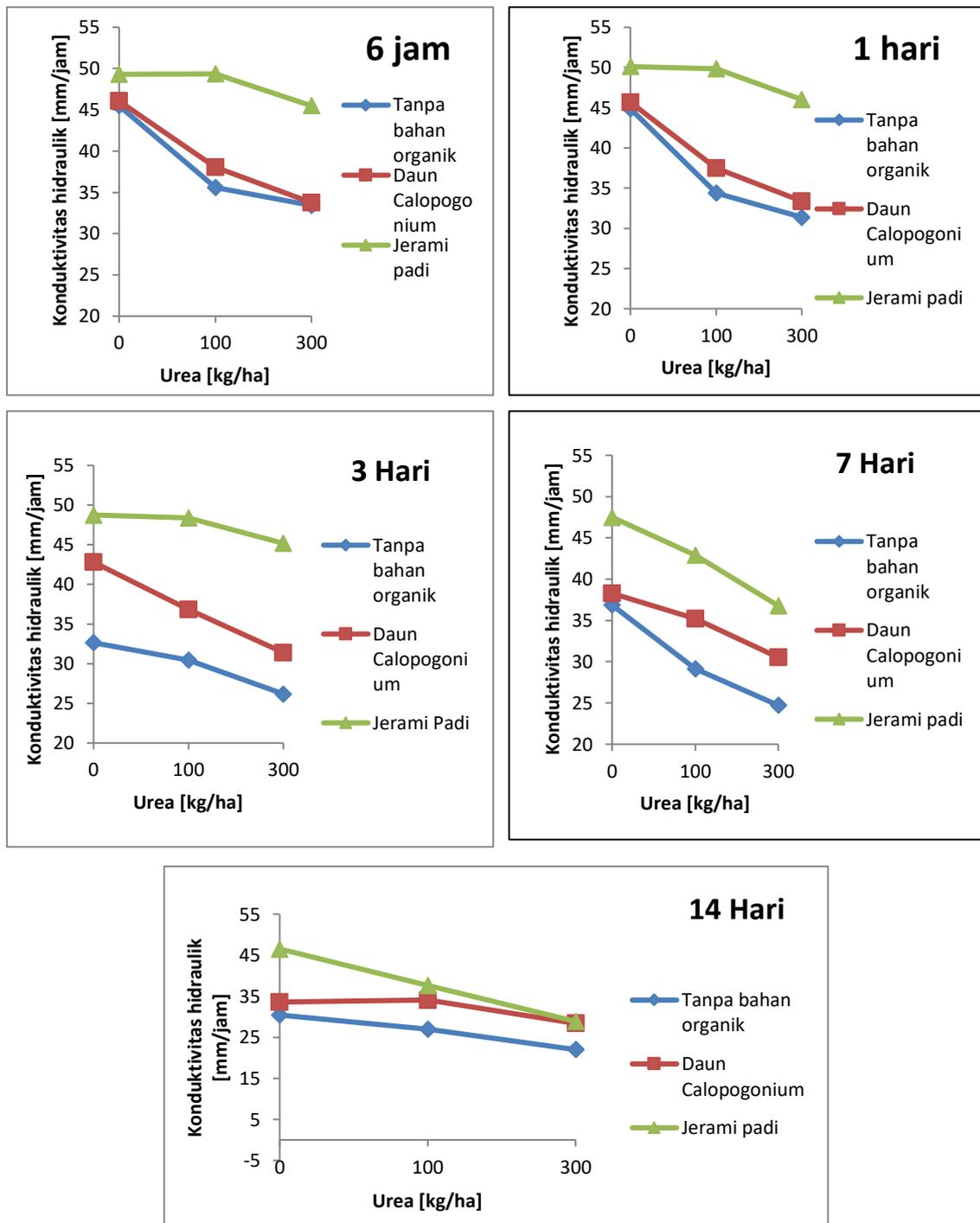
1. Konduktivitas Hidraulik Jenuh

Pengaruh Urea dan bahan organik terhadap Konduktivitas Hidraulik jenuh pada tanah Ultisol disajikan pada Gambar 1. Gambar 1 menunjukkan pemberian jerami padi dan urea dengan dosis 100 kg/ha mempunyai konduktivitas hidraulik tertinggi pada pengukuran 6 jam setelah inkubasi sebesar 49,34 mm/jam. Hal yang sama ditunjukkan pada pemberian jerami padi tanpa urea, pada selang waktu 1-14 hari setelah inkubasi (HSI), masing masing 50,12 ; 48,76; 47,50 dan 46,52 mm/jam. Sedangkan tanpa pemberian bahan organik dan urea dosis 300 kg/ha, menunjukkan konduktivitas hidraulik terendah pada selang waktu inkubasi 6 jam sampai 14 hari masing-masing 33,42; 31,38; 26,18; 24,72 dan 21,98 mm/jam.

Hasil penelitian menunjukkan, pada tanah Ultisol pada setiap waktu pengukuran, dengan dosis urea yang sama, dan pemberian bahan organik dapat meningkatkan konduktivitas hidraulik jenuh tanah. Bahan organik berperan dalam memperbaiki agregasi dan struktur tanah. Pengaruh ini ditunjukkan pada 14 HSI, karena dengan waktu inkubasi yang demikian sudah cukup untuk memberi kesempatan bahan organik melapuk. Mekanisme agregasi bahan organik dijelaskan Emerson (1959), bahwa senyawa-senyawa organik, seperti polisakarida, berinteraksi secara kimia dengan partikel-partikel liat silika serta oksida besi dan aluminium. Bravo-Garza dan Bryan (2005) juga melaporkan terdapat korelasi antara pengurangan agregat dan kehilangan C organik akibat peningkatan penggunaan lahan, tetapi tidak ada hubungan yang ditemukan untuk parameter yang sama pada lahan yang tidak terganggu.

Hasil analisis tekstur tanah Ultisol diperoleh tekstur tanah adalah lempung berdebu. Hal ini berarti bahwa tanah tersebut didominasi oleh fraksi debu sebesar $0,55 \text{ g.g}^{-1}$, pasir $0,196 \text{ g.g}^{-1}$ dan liat $0,249 \text{ g.g}^{-1}$. Tanah dengan dominasi debu akan banyak mempunyai pori meso (agak porous). Tanah-tanah yang didominasi fraksi pasir akan mempunyai pori makro (porous), sementara tanah dengan fraksi liat akan mempunyai banyak pori mikro (kecil) atau tidak porous (Hanafiah, 2007). Tanah sangat dipengaruhi oleh bahan organik tanah, tipe dan kandungan liat, kelembaban, pemadatan dan manajemen tanah (Kutilek *et al.*, 2006; Wairiu dan Lal, 2006; Chun *et al.*, 2008). Distribusi ukuran pori merupakan kombinasi dari tekstur dan struktur tanah (Balbino *et al.*, 2002).

Siklus bahan organik sangat berperan dalam mempengaruhi agregasi tanah melalui proses humifikasi, aktivitas mikroorganisme tanah dan eksudat yang dihasilkan oleh mikroorganisme tanah. Selanjutnya senyawa-senyawa organik ini menyelimuti partikel liat dan membentuk sambungan dengan partikel tanah lainnya (antar partikel atau domain liat



Gambar 1. Konduktivitas hidraulik jenuh tanah ultisol yang diberi urea dan bahan organik pada berbagai masa inkubasi.

juga terjadi ikatan elektrostatik), membentuk agregat yang stabil dalam air. Akan tetapi sampai 3 HSI, pengaruh bahan organik ini seperti ini belum diharapkan. Pengaruh penambahan bahan organik dalam memperbesar konduktivitas hidraulik, kemungkinan secara langsung disebabkan pengaruh material bahan organik dalam membuat tanah menjadi lebih sarang. Setelah melalui masa inkubasi yang cukup panjang (14 HSI) pengaruh hasil pelapukan bahan organik dalam pembentukan struktur seperti yang dikemukakan

Emerson (1959) mungkin dialami. Jerami padi dalam hal ini, sebagai bahan organik yang berkualitas rendah (C/N yang tinggi) menyebabkan konduktivitas hidraulik yang lebih tinggi. Perubahan konduktivitas hidraulik dapat juga disebabkan oleh adanya vegetasi dan serasah pada permukaan tanah. Selain itu adanya aktivitas jasad hidup tanah, khususnya bakteri, yang berperan dalam perombakan bahan organik sehingga stabilitas agregat tanah dan pori dapat dipertahankan (Suryani, 2014).

Masa inkubasi yang lebih lama pada penelitian ini, menyebabkan penurunan konduktivitas hidraulik, baik pada tanah yang diberi bahan organik maupun yang tidak. Hal ini memberi gambaran bahwa partikel tanah menjadi bersatu membentuk agregat-agregat, akan tetapi pembentukan agregat ini tidak menyebabkan tanah menjadi porous atau konduktivitas hidraulik yang lebih tinggi tetapi menjadi lebih rendah. Proses yang mungkin terjadi adalah terjadinya konsolidasi matriks (pemadatan tanah). Sedangkan tanah yang tidak mendapat tambahan bahan organik, pengaruh penyarangan tanah menjadi berkurang atau hilang sama sekali karena melapuknya bahan organik. Kemungkinan pengaruh fisik jerami padi terhadap penambahan kesarangan tanah masih ada sampai dengan 14 HSI.

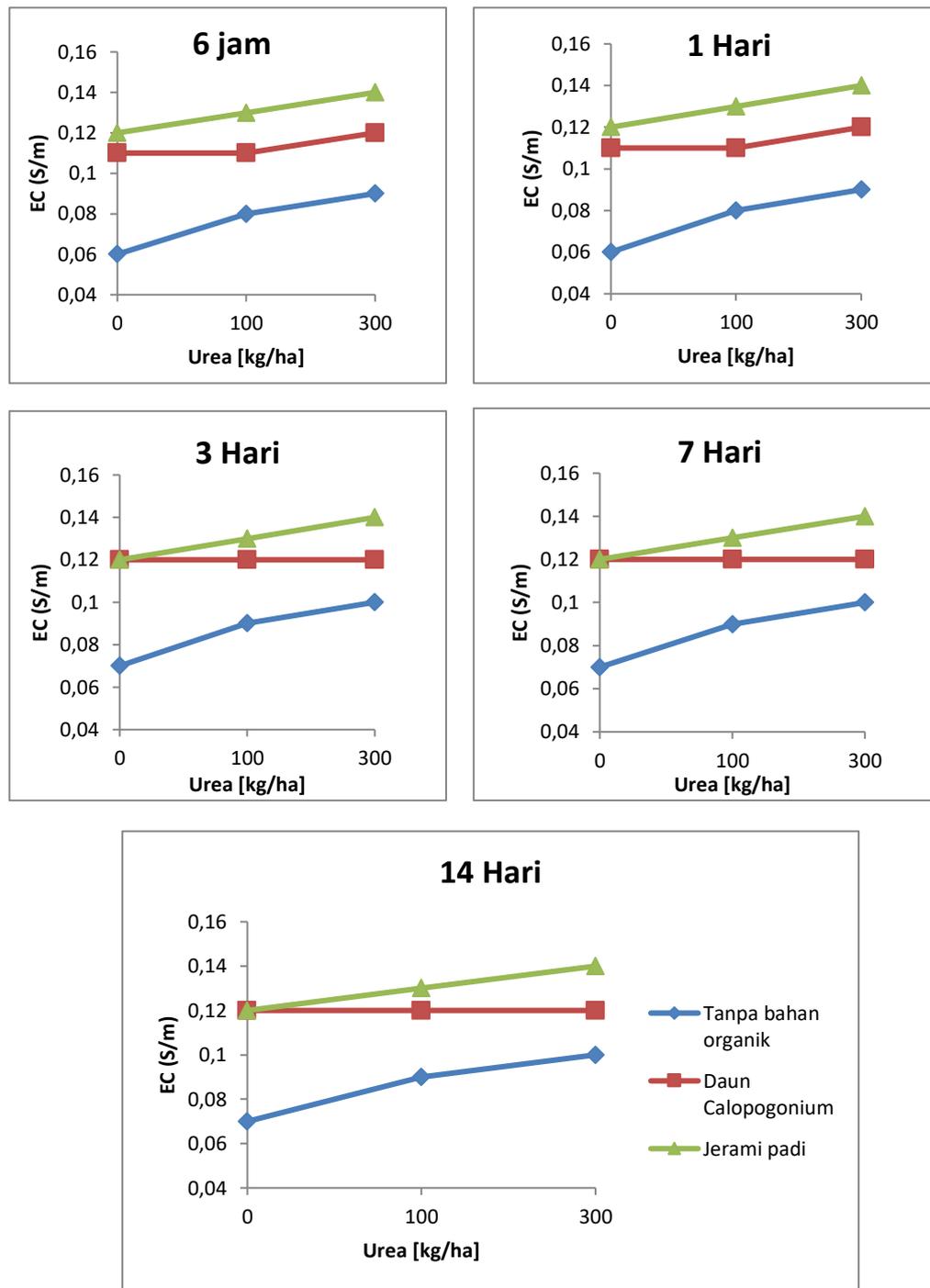
2. Daya hantar Listrik Tanah (EC)

Pengaruh Urea dan bahan organik terhadap daya hantar Listrik pada tanah Ultisol disajikan pada Gambar 2. Hasil pengukuran *Electrical Conductivity* (daya Hantar Listrik) pada tiap waktu pengukuran disajikan pada Gambar 2. Gambar 2 menunjukkan perlakuan tanpa bahan organik dan urea dengan dosis yang berbeda (Perlakuan B₃), EC meningkat dari 6 jam ke 14 hari, jika urea tidak diberikan (U₁). Begitu pula dengan pemberian urea 100 kg/ha dan 300 kg/ha dan selang waktu setelah inkubasi sama. Daya Hantar Listrik tertinggi diperlihatkan oleh pemberian jerami padi dan urea dosis 300 kg/ha (B₃ U₃), pada selang waktu dari 6 Jam setelah Inkubasi (JSI) hingga 14 Hari setelah Inkubasi (HSI) dan 0,13 masing-masing 0,13; 0,13; 0,15; 0,13 Sm⁻¹, diperoleh dengan tidak memberi bahan organik dan tanpa urea (B₁ U₁), pada selang waktunya setelah inkubasi yang sama. Daya hantar listrik tertinggi, diperlihatkan oleh pemberian jerami padi dan urea dosis 300 kg/ha (B₃U₃) sebesar 0,14 Sm⁻¹ pada selang waktu setelah inkubasi dari 6 jam hingga 14 hari. Sebaliknya, EC terendah masing-masing 0,06; 0,06; 0,06; dan 0,07, diperoleh dengan tidak memberi bahan organik dan tanpa urea (B₁ U₁) dengan selang waktu inkubasi yang sama.

Daya hantar listrik yang meningkat seharusnya memflokulasi liat (Jun, et al 1985), sehingga seharusnya konduktivitas hidraulik meningkat. Akan tetapi data pada penelitian ini menunjukkan hal yang sebaliknya. Penjelasan yang dapat diberikan bahwa, tanah pada percobaan ini, pada suatu waktu mengalami dispersi oleh penambahan urea sehingga konduktivitas hidraulik menurun. Tanah dengan konduktivitas hidraulik yang lebih rendah tersebut tidak dapat mengembalikan nilai konduktivitas hidrauliknya menjadi lebih tinggi kembali sesudah kondisi lain dapat menyebabkan tanah terflokulasi. Situasi inilah agaknya yang dialami tanah – tanah yang diberi bahan organik.

Korelasi antar daya hantar listrik (EC) yang meningkat dengan dengan tingginya dosis urea pada penelitian ini telah ditemukan oleh Gusli (1994), Selanjutnya Iranpour et al.(2014), mengemukakan bahwa nilai daya hantar listrik (EC) tanah akan meningkat seiring dengan peningkatan dosis ameliorasi bahan organik dan dekomposisinya yang melepaskan ion-ion hara ke larutan tanah, diantaranya NH₄⁺, sebagai hasil proses amonifikasi bahan organik.

Pembentukan NH^+ lebih cepat terjadi pada tanah dengan kadar N dan bahan organik tinggi (Nayak et al., 2009; Pampolino et al., 2008).



Gambar 2. Daya hantar listrik tanah ultisol yang diberi urea dan bahan organik pada berbagai masa inkubasi.

Daya hantar listrik (EC) tanah yang menurun menyebabkan volume ion lawan bertambah sehingga menciptakan kekuatan tolak menolak antar partikel koloid (Samosir, 1994), yang menyebabkan tanah terdispersi. Sebaliknya pada daya hantar listrik (EC) yang tinggi ketebalan lapisan ganda menurun. Hal ini terjadi karena jumlah kation dalam larutan

tanah meningkat dengan meningkatnya daya hantar listrik (EC), sehingga kation yang cenderung untuk membaur justru menjauhi permukaan koloid, yang berakibat pada menipisnya lapisan rangkap. Dengan demikian partikel yang dilindungi oleh lapisan rangkap segera saling mendekati sehingga terjadi flokulasi liat.

IV. KESIMPULAN

Pemberian urea mengakibatkan konduktivitas hidraulik menurun, hal yang sebaliknya terjadi dengan pemberian bahan organik pada tanah Ultisol. Sedangkan pemberian bahan organik dengan C/N kategori tinggi, yaitu 50 – 70 yang dalam penelitian ini digunakan jerami padi, tanpa pemberian urea, lebih efektif dan terbaik dalam menekan sifat dispersif urea dibanding daun calopogonium. Bahan organik dari jerami padi, lebih efektif dalam mengurangi dispersi dan memperbaiki konduktivitas hidraulik. Selain itu dapat meningkatkan daya hantar listrik tanah (EC) dibandingkan dengan daun calopogonium.

V. UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini merupakan penelitian mandiri. Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Kahar, yang telah membantu dalam analisis laboratorium. Terima kasih juga kepada Bapak Muzakkir yang telah membantu dalam pengambilan sampel tanah di Malino, kabupaten Gowa.

REFERENSI

- Balbino, L. C., Bruand, A., Brossard, M., Grimaldi, M., Hajnos, M. And Guimar~aes, M. F. (2002). Changes in porosity and microaggregation in clayey Ferralsols of the Brailian Cerrado on clearing for pasture. *Eur. J. Soil Sci.* 53: 219-230.
- Bravo-Garza, M.R., Bryan, R.B., (2005). Soil properties along cultivation and fallow time sequences on Vertisols in Northeastern Mexico. *Soil Science Society of America Journal* 69: 473– 481.
- Cass, A. S.Gusli, and D.A.MacLeod (1994). Sustainability of Soil structure quality in ricew pady- soya-bean cropping systems in South Sulawesi- Indonesia. *Soil and Tillage Research* 31: 339 – 352.
- Chun, H. C., Gimenez, D. and Yoon, S. W. (2008). Morphology, lacunarity and entropy of intra-aggregate pores: Aggregate size and soil management effects. *Geoderma*. 146: 83-93.
- Emerson, W.W. (1959). The structure of soil crumbs. *Journal of Soil Science* 10: 235-244.
- Hainun, (1997). Dispersibilitas beberapa tanah tropika akibat pemberian urea (skripsi). Jurusan Ilmu Tanah, fakultas Pertanian.
- Hanafiah, K, A., (2007). *Dasar-dasar Ilmu Tanah*. Rajawali Pers. Jakarta.
- Iranpour, M., A. Lakzianand R. Korrasami. (2014). Effect of cadmium and organic matter on soil pH, electrical conductivity and their roles in cadmium availability in soil. *JMEAST*, 18:643-646.

- Kutilek, M., Jendele, L. And Panayiotopoulos, K. P. (2006). The influence of uniaxial compression upon pore size distribution in bi-modal soils. *Soil Till. Res.* 86: 27-37.
- Jun, W, S. Hui-zhein and Z. Dao-ming (1985). Electrical Conductivity. *In: Y. Tianren (ed). Physical Chemistry of paddy Soils.* Springer-Verlag. New York 157 -163.
- Mohr, E.C.J., F.A. Van baren and J. Van Schuylenborgh (1972). *Tropical Soils.* The Haque, Paris.
- Munir, S (1996). *Tanah–tanah Utama Indonesia. Karakteristik, Klassifikasi dan pemaanaafannya.* Pustaka Jaya, Malang.
- Nayak, P., D. Patel, B. Ramakrishnan, A.K. Mishra and R.N. Samantaray. (2009). Long-term application effects of chemical fertilizer and compost on soil organic carbon under intensive rice-rice cultivation. *Nutr.Cycl. Agroecosyst.*, 83:259-269.
- Pampolino, M.F., E.V. Laureles, H.C. Gines and R.J. Buresh. (2008). Soil carbon and nitrogen changes in long-term continuous lowland rice cropping. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 2: 798-807.
- Samosir, S. S. R (1994). *Kimia Tanah.* Jurusan Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian dan Kehutanan Universitas Hasanuddin, Ujung Pandang.
- Soil Survey Staff. *Soil Taxonomy (1975). A basic System For making and Interpreting Soil Survey.* Dept. Agr. Hand Book no.436.
- Suryani, I. (2014). Permiabilitas berbagai kedalaman tanah pada areal konversi lahan hutan. *Agrisistem Seri Hayati Vol.2.* ISSN No. 1858-4330.
- Wairiu, M. and Lal, R. (2006). Tillage and land use effects on soil microporosity in Ohio, USA and Kolombangara, Solomon Islands. *Soil Till. Res.* 88: 8084.