EVALUASI PERSAMAAN INFILTRASI KOSTIAKOV DAN PHILIP SECARA EMPIRIK UNTUK TANAH REGOSOL COKLAT KEKELABUAN

Empirical Evaluation Of Kostiakov And Philip Infiltration Equation On Greyish Brown Regosol

M. Riza Januar[1] dan Nora H. Pandjaitan[2]

Abstract

Infiltration is important to note because it is related to potential surface run-off, jlood, erosion, water storage of soil, and stream discharge especially during dry season. However, because the infiltration equation is valid for certain condition of the land measured, it is important to collect infiltartion data on all types of soil manually.

This research is mainly to evaluate constants of infiltration equation formulated by Kostiakov (constants K and n) and Philip (constants C and D) in relation with initial soil water content. The measurements are on vegetated soil and bare soil.

The evaluation shows that strong relationship occours between initial soil water content with (a) constant K in both the vegetated soil and bare soil at the average depth; (b) constant D in the vegetated soil at the average depth, and in bare soil the depth 0- 10 cm. However, the constan K in the vegetated soil at the average depth showed the strongest relationship.

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Infiltrasi merupakan proses masuknya air ke dalam tanah melalui sebagian atau seluruh permukaan tanah. Infiltrasi berhubungan dengan kandungan air dalam tanah yang tersedia untuk tanaman.

Laju infiltrasi perlu diketahui untuk memperhitungkan maksimum infiltrasi pada suatu tanah yang disebut juga dengan kapsitas infiltrasi (daya serap). Dengan mengetahui besarnya kapasitas infiltrasi suatu tanah, maka dapat diperhitungkan besarnya air hujan yang mempunyai potensi untuk melimpas setelah mencapai permukaan tanah, yang dapat menyebabkan banjir dan erosi.

Persamaan kapasitas infiltrasi yang ada sekarang ini tidak bersifat umum karena hanya berlaku untuk kondisi tanah tertentu saja (di mana telah dilakukan pengukuran).

---

[1] Alumni Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian – IPB
[2] Staf Pengajar di Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian – IPB

Persamaan kapasitas infiltrasi sangat tergantung pada kondisi tanah (sifat fisik tanah) yaitu kelembaban awal, porositas total, porositas drainase, tekstur dan struktur tanah (Purwowidodo, 1986).

Mengingat hal tersebut perlu adanya pengumpulan data untuk setiap kondisi tanah dan tempat sehingga nantinya dapat ditentukan suatu persamaan infiltrasi yang berlaku secara umum, untuk berbagai kondisi tanah dan tempat.

B. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi konstanta-konstanta pada persamaan infiltrasi Kostiakov dan Philip terhadap kadar air tanah awal tanah regosol coklat kekelabuan.

METODOLOGI

A. Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilaksanakan di tepi Sungai Ciapus, Kampus IPB Darmaga, Bogor. Jenis tanah di lokasi penelitian adalah regosol coklat kekelabuan berdasarkan Peta Tinjau Mendalam Sekitar Bogor (LPT dalam Nelliza, 1996). Penelitian ini dilakukan pada bulan Desember 1997 sampai April 1998.

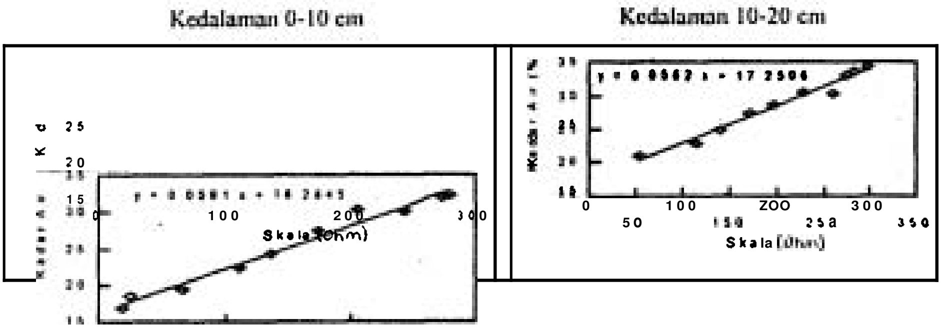
B. Bahan dan Alat

Penelitian ini menggunakan petakan lahan berukuran 3 m x 3 m dengan dua kondisi yaitu (1) lahan yang tidak ditanami vegetasi apapun dan (2) lahan bervegetasi rumput.

Alat yang diperlukan dalam penelitian ini adalah (1) infiltrometer silinder ganda (double ring *infuiltrometer*), yang berdiameter 30 cm dan 60 cm, (2) alat pengukur kelembaban tanah atau gypsum block, (3) alat pengambil sampel tanah atau ring sample, (4) alat pengukur kedalaman air yaitu penggaris, (5) alat pengukur waktu yaitu stop watch, (6) neraca berketelitian 0.001 gram, (7) oven, (8) alat pengaduk tanah, ember, palu dan corong penyemprot air.

C. Metode Penelitian

1. Penyiapan lahan penelitian; dilakukan persiapan dua kondisi lahan berukur 3 m x 3 m (1) lahan tidak bervgetasi (2) lahan bervegetasi rumput.
2. Kalibrasi Gypsum block; dilakukan di Laboratorium Fisika dan Mekanika Tanah, Jurusan Teknik Pertanian IPB sebelum digunakan di lapang, dengan menggunakan contoh tanah, pada lahan yang akan digunakan. Jumlah alat yang akan dikalibrasi sebanyak empat buah pada kedalaman 10 cm dan 20 cm.
3. Pengukuran di lapang; infiltrometer silinder ganda dimasukkan ke dalam tanah sedalam 20 cm. Pada bagian yang tidak tertanam dimasukkan air ke dalamnya dengan ketinggian tertentu. Penurunan muka air diukur setiap selang waktu 2, 5, 10, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240 menit. Air ditambahkan ke dalam silinder secara berkala agar infiltrasi selalu berlangsung dari kedalaman yang sama.
4. Analisa tekstur (dilakukan sebelum pengukuran), Porositas dan Kadar air (sebelum



Garnbar 1. Kurva hubungan antara skala (ohm)dengan kadar air tanah awal (%berat) pada lahan bervegetasi (hasil kalibrasi)

dan sesudah pengukuran); dengan menggunakan sampel tanah dari lokasi yang akan diukur. Alat ukur kelembaban tanah yang telah dikalibrasi ditanam pada kedalaman yang telah diten-tukan dalam silinder ber-ukuran kecil. Pengukuran dilakukan pada tahap awal pengukuran infiltrasi yaitu sebelum air dimasukkan ke dalam silinder. Hasil yang didapatkan (skala yang ter-tera) diinterpolasikan dengan hasil kalibrasi alat ini sebelumnya sehingga didapatkan besarnya kadar air tanah awal.

5. Pendekatan persamaan infiltrasi Pendugaan kapasitas infiltrasi dilakukan dengan menggunakan dua persamaan infiltrasi yaitu :

Persamaan Infiltrasi Kostiakov

$$fp = Kt^{n} \quad \ldots\ldots (1)$$

dimana:

fp = kapasitas infiltrasi (mm/menit)

K,n = konstanta yang dipengaruhi oleh faktor lahan dan kadar air tanah awal

t = waktu (menit)

Persamaan infiltrasi Philip

$$fp = C + Dt^{-0.5} \quad \ldots\ldots (2)$$

dimana:

fp = kapasitas infiltrasi (mm/menit)

C,D = konstanta yang dipengaruhi oleh faktor lahan dan kadar air tanah awal

t = waktu (menit) Keduanya diintegralkan guna memperoleh infiltrasi kumulatif. Infiltrasi kumulatif dapat dicari untuk periode tertentu, mulai dari t=0 sampai dengan t=t.

Infiltrasi kumulatif dari Kostiakov

$$F = \int_0^t (Kt^{n})\,dt = \{(K/(n+1))\}.\,t^{n+1} \quad (3)$$

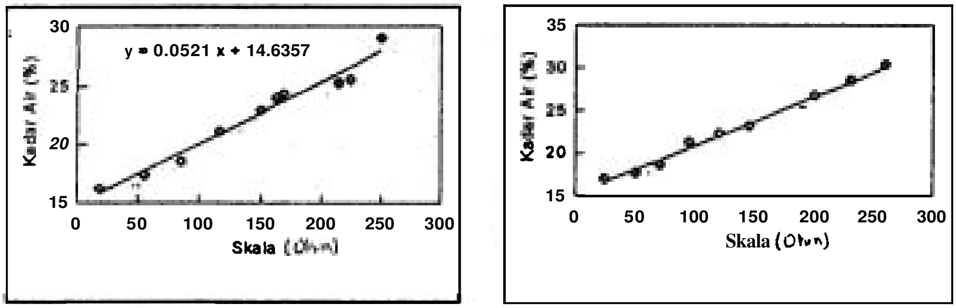
Infiltrasi kumulatif dari Philip

$$F = \int_0^t (Dt^{-0.5} + C).dt = C.t + 2.D.t^{0.5} \quad (4)$$

dimana:

F = kapasitas infiltrasi (mm)

Kedalaman 0-10 cm — Kedalaman 10-20 cm



Gambar 2. Kurva hubungan antara skala denga kadar air tanah awal (%berat) pada lahan terbuka (hasil kalibrasi)

C,D,K, n = konstanta infiltrasi
t = waktu (menit)

Kemudian dicari persamaan kapasitas infiltrasi.

1. **Pengepasan/fitting** persamaan infiltrasi **Kostiakov**

   Jika persamaan infiltrasi kumulatif dari **Kostiakov** dilogaritmakan:

$$\text{Log } F = \log \frac{K}{n+1} + (n+1) \log t \quad \text{.... (5)}$$

   maka persamaan tersebut akan menghasilkan garis lurus (linier). Nilai K dan (n + 1) **dapat** dihitung **dengan cara** regresi **linier**.

   Dari grafik tersebut, nilai **(n+1) adalah kemiringan** dari **garis yang** dapat **dihitung**, sehingga nilai n dapat ditemukan. Nilai dari **K/(n+1)** dapat dihitung **sehingga** nilai K dapat **diperoleh** dan **persamaan kapasitas infiltrasi** dapat **dicari**.

2. **Pengepasan/fitting persamaan infiltrasi Philip.**

   Persamaan infiltrasi **kumulatif** Philip dapat **dituliskan**:

$$F - C.t = 2.D.t^{0.5} \quad \text{....................(6)}$$

Proses pengepasan dari **persamaan** di **atas** dapat dilakukan dengan **menggunakan** data dari dua intervah waktu yaitu t_1 dan t_2 **serta** dua nilai dari infiltrasi kumulatif **pada** interval **tersebut** yaitu F1 dan F2 sehingga:

$$F_1 - Ct_1 = 2\, Dt_1^{0.5} \quad \text{.....................(7)}$$
$$F_2 - Ct_2 = 2\, Dt_2^{0.5} \quad \text{.....................(8)}$$

Untuk **mendapatkan** nilai D maka **dilakukan eliminasi** :

$(F_1 - Ct_1 = 2\, Dt_1^{0.5}) \times t_2$
$(F_2 - Ct_2 = 2\, Dt_2^{0.5}) \times t_1$
$F_1 - C.t_1.t_2 = 2\, D.t_1^{0.5} t_2$
$F_2 - C.t_1.t_2 = 2\, D.t_2^{0.5}.t_1$
$F_1.t_2 - F_2.t_1 = 2\, D\, (t_1^{0.5}.t2 - t_2^{0.5} t_1)$.
Sehingga:

$$D = \frac{F_1 t_2 - F_2 t_1}{2(t_1^{0.5} t_2 - t_2^{0.5} t_1)} \quad \text{..............(9)}$$

Nilai D **lalu** dimasukkan **ke** dalam persamaan (6) dan (7) hingga **diperoleh** nilai C. Nilai C dan D kemudian dimasukkan ke dalam persamaan Philip. Kemudian diplotkan di atas kertas grafik dan dibandingkan dengan hasil gambar dari persamaan Kostiakov. Pilih persamaan Philip hasil kombinasi dari pemilihan titik yang paling mendekati gambar persamaan Kostiakov.

Evaluasi dilakukan terhadap konstanta-konstanta persamaan Kos-tiakov (K dan n) dan Philip (C dan D) 'yang diperoleh dari hasil pengukuran infiltrasi untuk berbagai kadar air tanah awal di lapang. Dari evaluasi ini akan ditentukan hubungan antara konstanta-konstanta dari kedua persamaan tersebut dengan kadar air tanah awal. Hubungan tersebut dapat diperhitungkan terhadap kadar air tanah awal pada dua kedalaman dan rata-rata dari. keduanya (Dhalhar, 1972).

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Kalibrasi Alat Ukur Kelembaban Tanah *(Gypsum Block)*.

Hasil kalibrasi *gypsum* bock dari sampel tanah pada lahan bervegetasi dan tidak bervegetasi digunakan untuk mendapatkan persamaan reg-resi liniernya, yang menggambarkan hubungan skala (Ohm) dan kadar air tanah (Gambar 1 dan 2).

Hasil perhitungan regresi linier untuk masing-masing kondisi tersebut mempunyai nilai koefisien deter-minasi (R^2) yang mendekati 100 %. Nilai koefisien determinasi tersebut menunjukkan hubungan antara skala (Ohm) dan kadar air tanah terukur sehingga tidak mengurangi ketelitian dalam penentuan nilai kadar air tanah awal.

B. Analisis Sifat Fisik Tanah

1. Tekstur Tanah

   Tekstur tanah dilihat dari proporsi tiga partikel pembentuk tanah yaitu partikel liat, debu dan pasir. Dari hasil analisa tersebut diperoleh bahwa lokasi penelitian memiliki jenis tanah lempung berpasir.

2. Porositas Total Tanah

   Dari hasil analisa, porositas total tanah sebelum penelitian infiltrasi memeliki nilai yang lebih besar dibandingkan setelah penelitian infiltrasi. Hal tersebut diduga akibat adanya proses pemanfaatan dan penutupan pori-pori tanah setelah pemberian air secara terus-menerus selama pengu-kuran infiltrasi dilakukan.

   Pada Tabel 1 terlihat bahwa tanah bervegetasi memiliki per-sentase porositas total yang relatif lebih kecil dibandingkan tanah terbuka. Hal ini karena tanah terbuka memiliki persen-tase liat

Tabel 1. Hasil analisis porositas total tanah

No	Kedlman (cm)	Sebelum penelitian Kondisi lahan		Sesudah penelitian Kondisi lahan	
		Bervegetasi (%)	Terbuka (%)	Bervegetasi (%)	Terbuka (%)
1.	10	66.4	69.1	64.8	67.6
2.	20	71.7	75.5	67.5	70.2

yang relatif besar daripada tanah bervegetasi. Ditinjau dari segi kedalamannya, persentase pori total lebih tinggi pada kedalaman 10 – 20 cm dibanding dengan kedalaman 0 – 10 cm. Hal ini dapat disebabkan oleh kandungan liat yang lebih tinggi dan kandungan pasir yang relatif lebih rendah pada kedalaman 10 – 20 cm diban-dingkan dengan kedalaman 0 – 10 cm. Dengan demikian, diduga pori-pori makro lebih banyak terdapat pada keda-laman 0 – 10 cm dan menye-babkan terbawanya partikel tanah yang lebih halus dari permukaan ke dalam tanah ketika dilaku-kannya pemberian air. Partikel tersebut mengen-dap di bagian tanah yang lebih dalam dan menimbulkan per-sentase pori-pori total yang lebih rendah setelah dilaku-kannya penelitian infiltrasi.

3. Porositas Drainase Tanah.

Hasil analisa menunjukkan bahwa tanah bervegetasi memiliki porositas drainase cepat yang lebih kecil dan porosiatas drainase lambat yang lebih besar dibanding tanah terbuka, namun nilainya tidak jauh berbeda jika dibanding pada lahan terbuka. Hal ini terutama dilihat pada kedalaman 10 - 20 cm. Dengan demikian, walau kandungan lahan bervegetasi lebih tinggi dibanding lahan terbuka, namun jumlah porositas dra-inase cepat lahan bervegetasi lebih rendah dibandingkan pada lahan terbuka.

C. Hasil Pengukuran Infiltrasi

Hasil pengukuran infiltrasi pada lahan bervegetasi dan lahan terbuka menunjukkan bahwa laju infiltrasi akan semakin berkurang dengan semakin bertambahnya waktu. Hal ini karena pada saat tanah belum jenuh, terdapat gaya hisapan matrik dan gaya gravitasi yang bekerja. Namun semakin lama, tanah semakin mendekati jenuh, maka gaya hisapan matriknya menjadi semakin kecit dan hanya gaya gravitasi yang bekerja. Akibatya laju infiltrasi berkurang dengan bertarnbahnya waktu hingga mencapai minimum dan konstan.

Adapun terjadinya penurunan kapasitas infiltrasi pada waktu tertentu adalah disebabkan oleh proses pembasahan secara terus menerus pada partikel tanah. Proses pembasahan tersebut menyebabkan lepasnya ikatan butir-butir tanah, kemudian butiran tersebut menutupi atau mengisi ruang pori tanah. Akibatnya terjadi penurunan jumlah air yang terinfiltrasi.

Ditinjau dari pengaruh tekstur dan porositas tanah terhadap kapasitas infiltrasi, maka semakin kasar tekstur tanah cenderung akan semakin banyak memiliki pori berdiameter besar. Dengan demikian, kapasitas infiltrasi tanah bertekstur kasar, akan lebih besar dibandingkan kapasitas infiltrasi pada tanah bertekstur halus.

Pada hasil pengukuran infiltrasi terlihat bahwa ketika kadar air tanah awal rata-rata relatif sama yaitu 26.9 % (pada hari ke 9 untuk lahan bervegetasi, dan pada hari ke 1 untuk lahan terbuka) infiltrasi kumulatif lahan bervegetasi adalah sebesar 192 mm dan pada lahan terbuka adalah sebesar 443 mm. Hal tersebut menunjukkan bahwa infiltrasi kumulatif dan kapasitas infiltrasi pada lahan terbuka memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan pada lahan bervegetasi. Hal tersebut dapat disebabkan oleh jumlah porositas drainase cepat relatif lebih besar pada lahan terbuka dibandingkan pada lahan bervegetasi, walau tekstur lahan terbuka memiliki kandungan pasir yang relatif lebih rendah dibandingkan lahan bervegetasi.

Ditinjau dari segi kadar air tanah, terlihat bahwa nilai infiltrasi kumulatif akan menjadi semakin kecil dengan semakin besarnya kadar air tanah awal, sehingga akan mempercept tercapainya laju infiltrasi konstan. Hal ini karena semakin tinggi kadar air, maka semakin banyak pori yang telah diisi dengan air sehingga mengurangi air yang terinfiltrasi.

D. Hasil Pengepasan (Fitting) Persamaan Infiltrasi

1. Hasil Pengepasan persamaan infiltrasi Kostiakov

   Pengepasan persamaan infiltrasi Kostiakov dilakukan dengan cara regresi linier terhadap nilai logaritma waktu (t) dan infiltrasi kumulatif (F). Dari persamaan linier yang dihasilkan dapat dihitung nilai K dan n.

   Dari hasil perhitungan , nilai koefisian K dan n serta hasil persamaan Kostiakov untuk lahan bervegatasi, dan hasil perhitungan nilai koefisian K dan n untuk lahan terbuka, terlihat bahwa nilai K dan n semakin kecil dengan semakin tingginya kadar air tanah awal.

2. Hasil pengepasan persamaan infiltrasi Philip.

   Persamaan Philip ditentukan berdasarkan hasil kom-binasi dari pemilihan titik yang paling mendekati persamaan Kostiakov. Kombinasi titik tersebut yang dipilih adalah kombinasi 2-240, 5-240, 10-240, 2-180 dan 5-180. Setelah dianalisa terlihat bahwa titik kombinasi $t_1=5$, dan $t_2=180$ yang paling mendekati persa-maan Kostiakov. Dengan demikian nilai C dan D dihitung berdasarkan persa-maan kombinasi titik tersebut. Semakin bertambahnya kadar air tanah awal, maka nilai konstanta C dan D semakin menurun. Namun terlihat hubungan yang lebih erat antara kadar air tanah awal rata-rata dengan nilai konstanta C.

E. Hubungan Antara Konstanta Dari Persamnan Infiltrasi Kostiakov dan Philip Dengan Faktor Kadar Air Tanah Awal (θ)

1. Hubungan antara konstanta K dari persamaan infiltrasi Kostiakov dengan kadar air tanah awal (θ); Nilai koefisian menunjukkan bahwa lahan terbuka mempunyai hubungan yang lebih erat antara konstanta K dengan kadar air tanah awal dibandingkan lahan bervegetasi dan terbuka terletak pada kedalaman rata-rata.
2. Hubungan antara konstanta n dari Persamaan Infiltrasi Kostiakov dengan kadar air tanah awal (8); Nilai koefisien determinasi yang diperoleh dari hasil analisis regresi linier pada lahan bervegetasi dan terbuka menunjukkan bahwa nilai

koefisien determinasinya sangat kecil yaitu kurang dari 0.5. Hal ini menunjukkan bahwa hubungan antara konstanta n dengan kadar air tanah awal tidak erat.

3. Hubungan antara konstanta C dari persamaan infiltrasi Philip dengan kadar air tanah awal (θ). Hasil persamaan regresi linier dan nilai koefisien determinasi terlihat hubungan yang lebih erat antara konstanta C dengan kadar air tanah awal terdapat pada lahan bervegetasi. Hal ini dapat dilihat dari nilai koefisien determinasi yang lebih tinggi pada lahan bervegetasi dibandingkan lahan terbuka. Pada lahan bervegetasi, hubungan tererat antara konstanta C dengan kadar air tanah awal adalah pada kedalaman 10 – 20 cm. Secara keseluruhan antara konstanta C dan kadar air tanah awal tidak ada korelasi.
4. Hubungan antara konstanta D pada persamaan infiltrasi Philip dengan kadar air tanah awal (θ); Dari nilai koefisien determinasi terlihat bahwa konstanta D dan kadar air tanah awal memiliki hubungan yang erat pada lahan bervegetasi maupun pada lahan terbuka. Pada lahan bervegetasi, hubungan tererat tertihat pada kedalaman rata-rata.

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

1. Berdasarkan analisis tekstur tanah, tanah di lokasi penelitian bertekstur lempung berpasir.
2. Nilai porositas tanah pada lahan bervegetasi adalah lebih kecil pada lahan terbuka. Nilai tersebut lebih tinggi di kedalaman 10 – 20 cm pada kedua jenis lahan tersebut. Nilai porositas tanah pada kedua lahan mengalami per-ubahan setelah pengukuran infiltrasi, di mana nilainya menjadi lebih kecil dibandingkan sebelum dilakukan infiltrasi.
3. Nilai porositas drainase tanah pada lahan bervegetasi relatif lebih kecil dibandingkan pada lahan terbuka. Ditinjau dari segi kedalamannya, nilai porositas drainase lebih tinggi dikedalaman 10 – 20 cm pada kedua lahan. Nilai porositas drainase kedua lahan meng-alami penurunan setelah pengukuran infiltrasi. Ditin-jau dari nilai porositas cepat, lahan bervegetasi memiliki nilai porositas drainase eepat lebih kecil dibandingkan lahan terbuka. Dilihat dari keda-lamannya maka pada kedalaman 10 –20 cm porositas drainase cepat memiliki nilai lebih besar diban-dingkan pada kedalaman 0–10 cm.
4. Laju infiltrasi pada kedua lahan semakin menurun dengan semakin bertambah-nya waktu. Dari segi pengaruh kadar air tanah awal, laju infiltrasi pada kedua lahan semakin menurun dengan semakin tingginya kadar tanah awal.
5. Dari keempat konstanta, hubungan erat antara konstanta dengan kadar air tanah awal adalah (a) hubungan antara konstanta K pada lahan bervegetasi di kedalaman rata-rata dan pada lahan terbuka di keda-laman rata-rata; (b) hubungan antara konstanta D pada lahan bervegetasi di kedalaman rata-rata, dan lahan terbuka di kedalaman 0–10 cm. Di antara semua hubungan

terse-but, hubungan yang paling erat antara konstanta dengan kadar air tanah awal ditunjukkan pada (a).

6. Hubungan erat antara konstanta K dan kadar air tanah awal pada lahan bervegetasi dikedalaman rata-rata dengan persamanaan: K= 6.45 x 10^7 $(\theta_{rata})^{-5.0096}$, dan lahan terbuka untuk kedalaman rata-rata dengan persamaan: K = 5.91 x 10^{19} $(\theta_{rata})^{-13.1141}$. Antara kedua kondisi lahan, lahan bervegetasi menunjuk-kan hubungan yang lebih erat dibandingkan lahan terbuka.
7. Hubungan erat antara kons-tanta D dengan kadar air tanah awal adalah pada lahan bervegetasi untuk kedalaman rata-rata dengan persamaan D = -0.4680 θ_{rata} + 16.4813, dan lahan terbuka untuk kedalam-an 0 – 10 cm dengan persamaan: D = -1.9220 θ 10 + 55.0656. Antara kedua kon-disi lahan, lahan bervegetasi memiliki hubungan yang lebih erat dibandingkan lahan terbuka.

B. Saran

1. Perlu penelitian seperti ini untuk tanah yang akan digunakan atau dikembangkan untuk tujuan produktif seperti misalnya pertanian.
2. Perlu dikembangkan penelitian yang menghubungkan perhitungan kapasitas infil-trasi secara teoritis iai dengan kondisi nyata di' lapang, terutama untuk tujuan perencanaan atau pengembangan produktif suatu lahan tertentu.
3. Pengukuran terhadap porositas sebaiknya tidak hanya dilakukan sebelum dan se-sudah pengamatan di lapangan namun selama pengamatan dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

Arsyad, S. 1983. Pengawetan Tanah dan Air. Jurusan Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Bogor.

Bintari, K. 1996. Evaluasi Konstanta Persamaan Infiltrasi Kostiakov dan Philip Secara Empirik. Jurusan Keteknikan Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Bogor.

Dhalhar, M.A. 1972. Process And Field Evaluation of Infiltration Rate. A " Plan B " Paper for MS, The University of Minnesota. Minnesota (unpublished).

Hardjowigeno, S. 1991. Pengantar Ilmu Tanah. Mediyatama Sarana Perkasa. Jakarta.

Hartono, R. 1991. Evaluasi Persamaan Infiltrasi dari Kostiakov dan Philip di Lapang. Jurusan Keteknikan Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Bogor.

Hillel, D. 1971. Soil and Water: Physical Principles and Processes. Academic Press. New York.

Hillel, D. 1980. Application of Soil Physics. Academic Press. New York.

Lembaga Penelitian Tanah. 1979. Penuntun Analisa Fisika Tanah. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Pusat Penelitian Tanah. Bogor.

Nelliza. 1996. Klasifikasi dan Interpretasi Genesis Tiga Jenis Tanah di Wilayah Kampus Darmaga, Bogor. Jurusan

Tanah, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Bogor.

Pamuji, H. 1994. Evaluasi Persamaan Infiltrasi dari Kostiakov dan Philip dengan Metode Pengepasan (Fitting Process) Pada Lahan Pertanian di Cipinang, Sukabumi. Jurusan Mekanisasi Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Bogor.

Purwowidodo. 1986. Tanah dan Erosi. Jurusan Managemen Hutan, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor. Bogor.

Schwab, O. G., R. K. Frevert, T. W. Edminster and K. K. Barnes. 1981 Soil and Water Conservation Engineering. John Wiley & Sons. New York.

Sosrodarsono, S. dan K. Takeda. 1985. Hidrologi untuk Perairan. Pradnya Paramita. Jakarta.