

## KAJIAN PERMEABILITAS BEBERAPA JENIS TANAH DI LAHAN PERCOBAAN KWALA BEKALA USU MELALUI UJI LABORATORIUM DAN LAPANGAN

*(Permeability Study of Several Soil Types in Kwala Bekala Field Trials USU Through  
Laboratory and Field Test)*

Nanda Akbar Siregar<sup>1</sup>, Sumono<sup>1</sup>, Achwil Putra Munir<sup>1</sup>

<sup>1</sup>)Program Studi Keteknikan Pertanian, Fakultas Pertanian USU  
Jl. Prof. Dr. A. Sofyan No. 3 Kampus USU Medan 20155

Diterima 15 Oktober 2013/ Disetujui 5 November 2013

### ABSTRACT

*Permeability of the soil is one of the important factor in designing drainage channels. The difference in the value of the permeability of the soil in the laboratory and in the field is due to of the different conditions in the test procedure. This study was aimed to determine the value of the rate of soil permeability on Andepts, Inceptisol, and the Ultisol through laboratory and field testing. Results of laboratory studies showed the value of the permeability rate was 1.34 cm/h at Andepts, 3.20 cm/h at g Inceptisol, and 1.06 cm/h at Ultisol. The field results showed that value of the permeability rate was 1.26 cm/h at Andepts, 2.23 cm/h at Inceptisol, and 0.98 cm/h at Ultisol. Factors affecting the value of the permeability differences among the three types of ground, among others, were the depth and the effective porosity of the soil. Difference in the value of soil permeability results in the laboratory and in the field was because of the thickness of the soil.*

**Key Words:** *Permeability, Effective Depth, Porosity, Drainage.*

### PENDAHULUAN

Tanah bersama air dan udara merupakan sumber daya alam utama yang sangat penting dalam kehidupan terutama di bidang pertanian. Tanah yang ditempati ataupun digunakan untuk berbagai usaha guna memenuhi kebutuhan hidup manusia, terwujudnya adalah melalui berbagai proses dan tahapan-tahapan yang panjang dan dalam jangka waktu yang sangat lama. Oleh karena itu, keadaan tanah harus selalu dijaga dan dilestarikan agar dapat selalu dimanfaatkan sesuai dengan fungsinya, begitu juga dengan air dan udara yang berpengaruh dalam pembentukan maupun aktivitas tanah (Hanafiah, 2005).

Tanah adalah produk transformasi mineral dan bahan organik yang terletak di permukaan sampai kedalaman tertentu yang dipengaruhi oleh faktor-faktor genetik dan lingkungan, yakni: bahan induk, iklim, organisme hidup (makro dan mikro), topografi, dan waktu yang berjalan selama kurun waktu yang sangat panjang (Hillel, 1981).

Tanah adalah kumpulan partikel padat dengan rongga yang saling berhubungan. Rongga ini memungkinkan air dapat mengalir di

dalam partikel melalui rongga dari satu titik yang lebih tinggi ke titik yang lebih rendah. Komposisi tersebut yang akan memungkinkan adanya aliran air di dalam tanah ataupun kemampuan tanah dalam melewatkan air. Sifat tanah yang memungkinkan air melewatinya pada berbagai laju alir tertentu disebut permeabilitas tanah. Sifat ini berasal dari sifat alami granular tanah, meskipun dapat dipengaruhi oleh faktor lain (seperti air terikat di tanah liat). Jadi, tanah yang berbeda akan memiliki permeabilitas yang berbeda (Das, 1995).

Salah satu sifat fisik tanah yang penting adalah kemampuan untuk meloloskan aliran air melalui ruang pori yang disebut dengan permeabilitas tanah. Permeabilitas adalah kualitas tanah untuk meloloskan air atau udara yang diukur berdasarkan besarnya aliran melalui satuan tanah yang telah dijenuhi terlebih dahulu per satuan waktu tertentu (Susanto, 1994).

Permeabilitas sangat dipengaruhi oleh sifat-sifat fisik tanah. Perubahan pada suhu air sedikit mempengaruhi permeabilitas. Dalam tanah yang jenuh air permeabilitas bervariasi di antara limit yang luas, mulai kurang dari 25 cm tiap tahun pada tanah liat yang padat sampai dengan beberapa ribu meter per tahun dalam

formasi kerikil. Untuk tanah yang tak jenuh air kadar kelembaban (moisture content) adalah salah satu dari faktor dominan yang mempengaruhi nilai laju permeabilitas tanah (Israelsen and Hansen, 1962).

Pengukuran permeabilitas tanah sangat penting untuk beberapa kepentingan di bidang pertanian, misalnya masuknya air ke dalam tanah, gerak air ke akar tanaman, aliran air drainase, evaporasi air pada permukaan tanah, kesemuanya itu dapat dipengaruhi oleh permeabilitas tanah yang mana berkaitan pula dengan peranan konduktivitas hidroliknya. (Soepardi, 1975).

Permeabilitas dapat mempengaruhi kesuburan tanah. Permeabilitas berbeda dengan drainase yang lebih mengacu pada proses pengaliran air saja, permeabilitas dapat mencakup bagaimana air, bahan organik, bahan mineral, udara dan partikel – partikel lainnya yang terbawa bersama air yang akan diserap masuk ke dalam tanah (Rohmat, 2009).

Setiap jenis tanah memiliki kemampuan permeabilitas yang berbeda – beda. Beberapa jenis tanah untuk pertanian di antaranya Andepts, Inceptisol, dan Ultisol yang perlu diketahui kemampuan permeabilitasnya untuk berbagai keperluan seperti merancang saluran drainase, pencucian salinitas tanah, dan sebagainya.

Penentuan kemampuan permeabilitas tanah dapat dilakukan dengan pengukuran di laboratorium dan lapangan yang memiliki kelebihan dan kekurangan seperti kemudahan dalam penggunaan alat dan keakuratan hasil. Secara ideal pengukuran melalui kedua pengujian tersebut pada lahan yang sama harus memberikan nilai yang tidak terlalu berbeda.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan nilai laju permeabilitas tanah Andepts, Inceptisol, dan Ultisol melalui uji laboratorium dan uji lapangan.

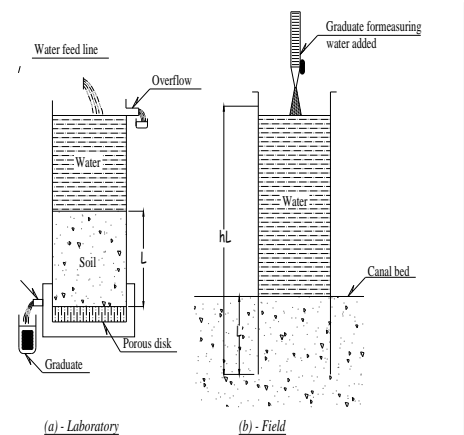
**METODOLOGI**

Bahan - bahan yang digunakan adalah air, kertas label, sampel tanah Andepts, Inceptisol, dan Ultisol serta data jenis tanah.

Alat - alat yang digunakan adalah ring sampel yang akan digunakan untuk media tanah, permeameter sebagai alat untuk mengukur laju permeabilitas, timbangan sebagai alat penimbang tanah, bor tanah sebagai alat ukur kedalaman efektif tanah di lapangan, tabung ukur untuk mengukur air yang ditambahkan secara kontinu di tabung permeameter, stopwatch sebagai alat untuk menghitung waktu penambahan air secara kontinu dalam tinggi

muka air konstan, penggaris sebagai alat pengukur tinggi air, kalkulator sebagai alat hitung, dan alat tulis sebagai pencatat data.

Penelitian dilakukan di laboratorium dengan menggunakan ring sampel dan langsung di lapangan dengan menggunakan permeameter yang dibenamkan ke dalam tanah seperti pada gambar di bawah ini:



Di Gambar : Nanda Akbar NS Sengar	KET
Di Periksa : Prof. Dr. Ir. Semono, MS	A.1
Tanggal : 13 Oktober 2013 Prodi : Korodukan Pertanian	
CONSTAN HEAD PERMEAMETER	

Dalam menghitung gerakan air melalui tanah pada kondisi jenuh dikenal hukum Darcy yang biasa digunakan dalam menghitung permeabilitas. Hukum Darcy merupakan satu ukuran pengaliran air pada tanah jenuh dan dirumuskan sebagai berikut:

$$k = \frac{QL}{Ah_L}$$

- di mana:
- k = koefisien permeabilitas (cm/jam)
- Q = debit air (cm<sup>3</sup>/jam)
- A = luas permukaan tanah (cm<sup>2</sup>)
- h<sub>L</sub> = tinggi muka air dan tebal tanah (cm)
- L = tebal/kedalaman tanah (cm)

(Israelsen and Hansen, 1962).

Sifat fisik tanah sangat mempengaruhi besarnya laju permeabilitas tanah. Sifat fisik tanah yang diukur di laboratorium yaitu tekstur tanah, struktur tanah, kandungan bahan organik tanah, kerapatan massa, kerapatan partikel, dan porositas. Sifat fisik tanah yang diukur di lapangan yaitu kedalaman efektif tanah.

Parameter Penelitian

1. Tekstur tanah

Tekstur tanah dianalisis di laboratorium dengan metode hygrometer.

## 2. Struktur tanah

Struktur tanah dianalisis di laboratorium dengan metode *by feeling*.

## 3. Bahan organik tanah

Kandungan bahan organik dianalisis di laboratorium dengan metode *walk clay and black*.

## 4. Kerapatan massa

Dilakukan analisis kerapatan massa, rumus yang digunakan sebagai berikut:

$$B_d = \frac{M_p}{V_t}$$

Dimana:

$B_d$  = kerapatan massa (*bulk density*) ( $g/cm^3$ )

$M_p$  = Massa padatan tanah (g)

$V_t$  = Volume total tanah ( $cm^3$ )

(Hillel, 1981).

## 5. Kerapatan Partikel

Dilakukan analisis kerapatan partikel, rumus yang digunakan sebagai berikut

$$P_d = \frac{M_p}{V_p}$$

Dimana:

$P_d$  = Kerapatan partikel tanah ( $g/cm^3$ )

$M_p$  = Massa padatan tanah (g)

$V_p$  = Volume tanah kering ( $cm^3$ )

(Hillel, 1981).

## 6. Porositas

Dilakukan analisis porositas tanah, rumus yang digunakan sebagai berikut:

$$\theta = \left(1 - \frac{B_d}{P_d}\right) \times 100\%$$

Dimana:

$\theta$  = porositas (%)

$B_d$  = kerapatan massa (*bulk density*) ( $g/cm^3$ )

$P_d$  = Kerapatan partikel tanah ( $g/cm^3$ )

(Hillel, 1981).

## 7. Kedalaman efektif tanah

Dilakukan pengukuran kedalaman efektif secara langsung di lapangan dengan menggunakan bor tanah

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Sifat - Sifat Fisik Tanah

#### Tekstur Tanah

Hasil analisa tekstur tanah dapat dilihat pada Tabel 1. Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa tanah Andepts memiliki tekstur lempung berpasir, tanah Inceptisol memiliki tekstur lempung liat berpasir, dan tanah Ultisol memiliki tekstur lempung liat berpasir yang dapat ditentukan dengan menggunakan segitiga USDA.

Jika dilihat dari persentase kandungan pasirmya, tanah Ultisol memiliki kandungan pasir yang lebih besar dibandingkan pada tanah Andepts dan Inceptisol. Dengan demikian berdasarkan kandungan pasirmya tanah Inceptisol lebih sulit untuk meloloskan air dibandingkan tanah Andepts dan Ultisol. Hal ini sesuai dengan pernyataan Hanafiah (2005) yang menyatakan bahwa tanah yang mengandung persentase pasir cukup besar dalam teksturnya akan mudah melewatkan air dalam tanah. Namun kemampuan tanah meloloskan air, tidak hanya bergantung kepada tekstur tanahnya. Banyak faktor lain yang berpengaruh secara langsung seperti porositas, bahan organik, dan kontinuitas pori – pori tanah.

Tabel 1. Hasil analisa tekstur tanah

Jenis tanah	Fraksi			Tekstur tanah
	Pasir (%)	Debu (%)	Liat (%)	
Andepts	71,12	9,72	19,16	Lempung berpasir
Inceptisol	67,12	6,72	26,16	Lempung liat berpasir
Ultisol	74,12	1,72	24,16	Lempung liat berpasir

#### Struktur Tanah

Hasil analisa struktur tanah dapat dilihat pada Tabel 2. Dari Tabel 2 dapat dilihat bahwa tanah Andepts memiliki struktur granular, tanah Inceptisol memiliki struktur remah, dan tanah Ultisol memiliki struktur gumpal bersudut.

Berdasarkan struktur tanahnya, tanah Inceptisol lebih mudah untuk meloloskan air dibandingkan tanah Andepts dan Ultisol. Hal ini dikarenakan struktur yang remah memiliki ruang pori yang lebih banyak dibandingkan tanah yang padat sehingga berpengaruh terhadap porositas.

Hal ini sesuai dengan literatur Arsyad (1989) yang menyatakan bahwa semakin padat dan keras struktur tanah maka porositasnya semakin kecil dan semakin remah struktur tanah maka porositasnya semakin besar. Selain itu, perkembangan akar pada tanah berstruktur ringan/remah lebih cepat per satuan waktu dibandingkan akar tanaman pada tanah kompak, sebagai akibat mudahnya intersepsi akar pada setiap pori-pori tanah yang memang tersedia banyak pada tanah remah.

Tabel 2. Hasil analisa struktur tanah

Jenis tanah	Struktur tanah
Andepts	Granular
Inceptisol	Remah
Ultisol	Gumpal bersudut

### Bahan Organik Tanah

Hasil analisa kadar C-Organik tanah dapat dilihat pada Tabel 3. Dari Tabel 3 didapat hasil pengukuran kandungan bahan organik dari ketiga jenis tanah, di mana kandungan bahan organik yang terbesar terdapat pada tanah Andepts dan kandungan bahan organik yang terkecil terdapat pada tanah Ultisol. Dengan kandungan bahan organik yang lebih besar pada tanah Andepts maka kemampuan menahan air lebih besar dibandingkan pada tanah Inceptisol dan Ultisol. Hal ini sesuai dengan pernyataan Hakim, dkk (1986) yang menyatakan bahwa bahan organik memiliki pengaruh terhadap sifat fisik tanah di antaranya kemampuan menahan air meningkat, warna tanah menjadi coklat hingga hitam, merangsang granulasi agreggat dan memantapkannya, dan menurunkan plastisitas, kohesi, dan sifat buruk lainnya dari liat.

Tabel 3. Hasil analisa kandungan bahan organik Tanah

Jenis tanah	Kadar C-organik (%)	Kandungan bahan organik (%)
Andepts	1,35	2,33
Inceptisol	0,83	1,43
Ultisol	0,52	0,90

### Kerapatan Massa Tanah

Hasil analisa kerapatan massa tanah dapat dilihat pada Tabel 4. Dari Tabel 4 dapat dilihat hasil pengukuran kerapatan massa yang berbeda di antara ketiga jenis tanah, di mana nilai kerapatan massa yang terbesar terdapat pada tanah Inceptisol dan nilai kerapatan massa yang terkecil terdapat pada tanah Andepts dan Ultisol. Hal ini menunjukkan tanah Inceptisol lebih padat dibandingkan dengan tanah Andepts dan Ultisol. Menurut Hardjowigeno (2003) *bulk density* dipengaruhi oleh padatan tanah, di mana tanah yang lebih padat mempunyai *bulk density* yang lebih besar.

Tabel 4. Hasil analisa kerapatan massa tanah (*Bulk density*)

Jenis tanah	<i>Bulk density</i> (g/cm <sup>3</sup> )
Andepts	1,1
Inceptisol	1,2
Ultisol	1,1

### Kerapatan Partikel Tanah

Hasil analisa kerapatan partikel tanah dapat dilihat pada Tabel 5. Dari Tabel 5 dapat dilihat hasil pengukuran kerapatan partikel pada ketiga jenis tanah, di mana nilai kerapatan partikel yang terbesar terdapat pada tanah Inceptisol dan nilai kerapatan partikel yang terkecil terdapat pada tanah Ultisol. Menurut Hanafiah (2005) *particle density* sangat berhubungan dengan *bulk density*, jika *bulk density* tanah sangat besar maka *particle density* juga besar.

Tabel 5. Hasil analisa kerapatan partikel tanah (*Particle density*)

Jenis tanah	<i>Particle density</i> (g/cm <sup>3</sup> )
Andepts	2,35
Inceptisol	2,89
Ultisol	2,27

### Porositas Tanah

Hasil analisa nilai porositas tanah dapat dilihat pada Tabel 6. Dari Tabel 6 dapat dilihat nilai porositas tanah Inceptisol lebih besar dibandingkan nilai porositas tanah Andepts dan Ultisol. Menurut Hardjowigeno (2003) salah satu faktor yang mempengaruhi nilai porositas tanah adalah tekstur tanah. Tanah yang memiliki kandungan pasir lebih banyak mempunyai pori-pori makro (ukuran pori yang lebih besar) tetapi memiliki ruang pori yang kecil sehingga porositasnya menjadi rendah. Tekstur tanah Inceptisol memiliki kandungan pasir yang lebih kecil dibandingkan tanah Andepts dan Ultisol sehingga menyebabkan porositasnya menjadi lebih besar.

Besarnya porositas tanah yang ditentukan oleh kerapatan massa tanah dan kerapatan partikel tanah berpengaruh kepada laju permeabilitas, di mana semakin besar porositas maka semakin besar pula laju permeabilitas tanahnya, begitu juga sebaliknya.

Tabel 6. Hasil analisa porositas tanah

Jenis tanah	Porositas (%)
Andepts	53
Inceptisol	58
Ultisol	52

### Kedalaman Efektif Tanah

Pengukuran kedalaman efektif tanah dapat dilihat pada Tabel 7. Dari Tabel 7 dapat dilihat hasil pengukuran kedalaman efektif ketiga jenis tanah, di mana kedalaman efektif tanah Inceptisol lebih besar dibandingkan kedalaman efektif tanah Andepts dan Ultisol. Hal ini berarti ketersediaan air dan pertumbuhan akar pada tanah Inceptisol

lebih besar sehingga mempengaruhi daya serap air oleh tanah yang menyebabkan tanah lebih mudah menyerap air. Hal ini sesuai dengan literatur Hardjowigeno (2003) yang menyatakan bahwa tanah dengan kedalaman dangkal akan membatasi ketersediaan air dan pertumbuhan akar. Demikian juga, tanah dangkal pada area yang datar dengan permeabilitas rendah akan mungkin tergenang secara musiman. Menurut Israelsen *and* Hansen (1962) tebal/kedalaman tanah (L) sangat berpengaruh terhadap laju permeabilitas tanah (k), di mana hukum Darcy menjelaskan hubungan yang searah antara tebal/kedalaman tanah (L) dengan laju permeabilitas tanah (k), semakin besar tebal/kedalaman tanah (L) maka semakin besar pula laju permeabilitas tanah (k) tersebut

Tabel 7. Hasil pengukuran kedalaman efektif tanah

Jenis tanah	Kedalaman efektif (cm)
Andepts	103
Inceptisol	128
Ultisol	94

#### Laju Permeabilitas Tanah

Hasil analisa dan pengukuran laju permeabilitas tanah di laboratorium dan di lapangan dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil analisa laju permeabilitas tanah

Jenis tanah	Laju permeabilitas tanah (cm/jam)		Kategori <sup>1</sup>
	Lab.	Lapangan	
Andepts	1,34	1,26	Agak lambat
Inceptisol	3,20	2,23	Sedang
Ultisol	1,06	0,98	Agak lambat

<sup>1</sup>Kategori menurut Uhland *and* O'Neal (1951)

Dari hasil analisa dan pengukuran laju permeabilitas di laboratorium dan lapangan dapat dikategorikan bahwa laju permeabilitas pada tanah Andepts dan Ultisol tergolong agak lambat dan laju permeabilitas pada tanah Inceptisol tergolong sedang. Dengan demikian tanah Inceptisol memiliki laju permeabilitas lebih besar dibandingkan tanah Andepts dan Ultisol. Laju permeabilitas yang lebih besar pada tanah Inceptisol disebabkan oleh porositas tanah tersebut lebih besar dibandingkan porositas pada tanah Andepts dan Ultisol. Hal ini sesuai dengan literatur Hanafiah (2005) yang menyatakan bahwa porositas atau ruang pori adalah rongga antar tanah yang biasanya diisi air atau udara. Pori sangat menentukan sekali dalam permeabilitas tanah, semakin besar pori dalam

tanah tersebut, maka semakin cepat pula permeabilitas tanah tersebut.

Dari hasil analisa dan pengukuran laju permeabilitas di laboratorium dan di lapangan didapat hasil pengukuran di laboratorium selalu lebih besar dibandingkan di lapangan. Beberapa hal yang dapat mempengaruhi lebih rendahnya permeabilitas di lapangan di antaranya adalah kedalaman (ketebalan) tanahnya dan udara yang terjebak pada lapisan tanah pada saat masuknya aliran air ke dalam tanah. Israelsen *and* Hansen (1962) menyatakan di dalam hukum Darcy bahwa semakin besar kedalaman (ketebalan) tanah maka semakin besar pula laju permeabilitasnya. Akan tetapi, kedalaman (ketebalan) tanah tersebut juga dapat menghambat keluarnya udara dari pori – pori tanah. Terhambatnya udara dalam pori – pori tanah menyebabkan aliran air menjadi lebih lambat karena terputusnya kontinuitas pori dalam menyalurkan air.

Laju permeabilitas merupakan parameter penting dalam irigasi dan drainase. Selama proses drainase, permeabilitas sangat menentukan besar kecilnya aliran air yang didrainase. Israelsen *and* Hansen (1962) menyatakan bahwa di dalam studi irigasi dan drainase, permeabilitas adalah variabel yang dominan. Permeabilitas tanah sangat penting di dalam desain sistem drainase untuk mengatasi banjir serta reklamasi tanah salin dan alkali.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

1. Tekstur dari tanah Andepts adalah lempung berpasir, tekstur dari tanah Inceptisol adalah lempung liat berpasir, dan tekstur dari tanah Ultisol adalah lempung liat berpasir.
2. Struktur dari tanah Andepts adalah granular, struktur dari tanah Inceptisol adalah remah, dan struktur dari tanah Ultisol adalah gumpal bersudut.
3. Tanah Andepts memiliki kandungan bahan organik sebesar 2,33 %, tanah Inceptisol memiliki kandungan bahan organik sebesar 1,43 %, dan tanah Ultisol memiliki kandungan bahan organik sebesar 0,9 %.
4. Tanah Andepts memiliki *bulk density* sebesar 1,1 g/cm<sup>3</sup>, *particle density* sebesar 2,35 g/cm<sup>3</sup>, dan porositas sebesar 53 %, tanah Inceptisol memiliki *bulk density* sebesar 1,2 g/cm<sup>3</sup>, *particle density* sebesar 2,89 g/cm<sup>3</sup>, dan porositas sebesar 58 %, dan tanah Ultisol memiliki *bulk density* sebesar 1,1 g/cm<sup>3</sup>, *particle density* sebesar 2,27 gr/cm<sup>3</sup>, dan porositas sebesar 52 %.

5. Kedalaman efektif tanah Andepts adalah 103 cm, kedalaman efektif tanah Inceptisol adalah 128 cm, dan kedalaman efektif tanah Ultisol adalah 94 cm.
6. Nilai laju permeabilitas tanah dengan metode uji laboratorium adalah 1,34 cm/jam pada tanah Andepts, 3,20 cm/jam pada tanah Inceptisol, dan 1,06 cm/jam pada tanah Ultisol, dengan metode uji lapangan adalah 1,26 cm/jam pada tanah Andepts, 2,23 cm/jam pada tanah Inceptisol, dan 0,98 cm/jam pada tanah Ultisol.

#### Saran

Sebaiknya dalam pengukuran di lapangan alat yang sudah ada perlu dimodifikasi lebih lanjut untuk mendapatkan hasil yang lebih teliti terutama dalam pengukuran tinggi muka air maupun penambahan air untuk pengambilan debit.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Arsyad, S., 1989. Konservasi Tanah dan Air. IPB Press, Bogor.
- Das, B. M., 1995. Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknik). Jilid 2. Erlangga, Jakarta.
- Hanafiah, A. K., 2005. Dasar – Dasar Ilmu Tanah. Raja Grafindo Persada, Jakarta.
- Hardjowigeno, S., 2003. Klasifikasi Tanah dan Pedogenesis. Akademika Pressindo, Jakarta.
- Hillel, D., 1981. *Soil and Water*. Academic Press, New York.
- Israelsen, O. W., and Hansen, V. E., 1962. *Irrigation Principles and Practices*. Wiley, New York.
- Rohmat, A., 2009. Tipikal Kuantitas Infiltrasi Menurut Karakteristik Lahan. Erlangga, Jakarta.
- Soepardi, G., 1975. Konduktivitas Hidrolik. Penerbit ANDI, Yogyakarta.
- Susanto, 1994. Pelestarian Sumber Daya Tanah dan Air. Penerbit Andi Offset. Yogyakarta.
- Umland R.E., and O'neal A.M. 1951. *Soil Permeability Determinations For Use In Soil and Water Conservation*. SCS-TP-101, 36 pp., Illus, New York.