

## PENERAPAN TEORI FRACTAL UNTUK MENENTUKAN KURVA RETENSI AIR PADA ENTISOL TANPA OLAH TANAH

### *Implementation Fractal Theory to Determine Water Retention Curve on Entisol No Tillage*

Ruslan Wirosoedarmo, Bambang Suharto, Cendra Irawan

Jurusan Teknik Pertanian - Fakultas Teknologi Pertanian - Universitas Brawijaya

#### **ABSTRACT**

*The analysis of soil characteristics are time consuming, cost highly, and the results are qualitative. Analysis of soil characteristics might be conducted through the fractal theory. Fractal description of soil based on the pore space and the distribution of particles is a useful way to make quantitative analysis of soil structure.*

*D value is determined by a mathematical equation of the curve of water retention. The water retention curve is obtained from some values of D and then compared to the data from entisol soil analysis. The results are calculated based on the size and the mass class cumulative value obtained from fractal dimension ( $D_m$ ) estimation of  $1.87 \pm 0.225$ . The water retention curve models are obtained with a quite good value at  $D = 2.052$ . There is a converse relationship between water content and water suction. The greater water content, the less water suction, and vice versa. This is shown in the regression linier model equation of  $y = 12744x^2 - 8666x + 1239.6$  with a determination coefficient  $R^2 = 0.8252$ . The value of water retention from the model is approximate the analytical data as shown in the linear regression from analysis of soil  $y = 12910x^2 - 8751.9x + 1222$  with determination coefficient  $R^2 = 0.805$ . The linear regression equation of the model is  $y = 12744x^2 - 8666x + 1239.6$  with a determination coefficient  $R^2 = 0.8252$ .*

*Key word: fractal theory, water retention, entisol soil*

#### **PENDAHULUAN**

Analisis sifat fisik tanah membutuhkan banyak waktu, biaya dan hasilnya ditunjukkan secara kualitatif. Pada akhir tahun sembilan puluhan telah dikembangkan konsep teori *fractal* untuk menganalisis sifat fisik tanah yang hasilnya lebih dapat dikuantitatifkan dengan waktu dan biaya lebih sedikit. Metode yang dimaksud adalah geometri *fractal*. Pendekatan teori *fractal* untuk pemodelan karakteristik retensi air tanah didasarkan pada model struktur tanah yang disebut dengan nama *fractal* padatan pori atau *Pore Solid*

*Fractal* (PSF) (Perfect dan Rasiah 1992; Rieu dan Sposito; 1991).

Struktur tanah sulit untuk dikuantitatifkan atau dinyatakan dalam kualitatif, tetapi dengan menggunakan teori *fractal* maka struktur tanah dapat dikuantitatifkan. Distribusi agregat dari ukuran-ukuran berbeda yang disingkat dengan distribusi ukuran agregat sangat potensial digunakan sebagai alat untuk mengekspresikan struktur tanah secara kuantitatif. *Fractal* gambaran dari tanah yang didasarkan pada ruang pori dan distribusi partikel cara yang bermanfaat untuk mengkuantitatifkan struktur tanah.

Tyler dan Wheatcraft (1992), Perfect (1993) dan Crawford *et al.* (1993) menyatakan bahwa analisis distribusi ukuran partikel dan tekstur satu bentuk dari sebagian besar diskripsi umum tanah lapangan dapat digunakan untuk menduga sifat fisik tanah termasuk retensi air, berat isi, permeabilitas dan porositas.

Bird *et al.* (2000) dan Siek *et al.* (1992) telah mengembangkan *fractal* untuk permodelan karakteristik retensi air tanah yang di dasarkan pada model dari struktur tanah yang dibuat dengan *fractal* padatan pori (PSF). Model yang diperoleh secara umum menunjukkan simetri antara fase padat dan pori, dengan kata lain bahwa karakteristik retensi air tanah dihubungkan dengan model yang ditunjukkan parameter struktur tidak hanya berhubungan dengan distribusi ukuran pori tetapi juga distribusi ukuran padatan.

Model PSF didasarkan pada pembagian *iterative* dari wilayah yang berikatan dalam ruang dimensi Euclidean  $d$ . Wilayah ini dibagi menjadi 3 kelompok yang diberi nama P, S dan F. Pembagian seluruh wilayah ditempati oleh kelompok P, S dan F yang dicatat sebagai  $p$ ,  $s$ , dan  $f$  yang kemudian diberikan hubungan sebagai berikut:

$$p + s + f = 1 \dots \dots \dots (1)$$

Dimensi *fractal* ditentukan dengan menggunakan data distribusi ukuran partikel tanah pada berbagai klas ukuran dengan menggunakan persamaan :

$$M_{s(i)} = L^d \zeta d_s \frac{s}{p+s} \left( \frac{r_{s(i)}}{r_{s(1)}} \right)^{d-D} \dots (2)$$

Bird *et al.* (2000) dan Perfect *et al.* (1997) menyatakan bahwa jika  $M_{s(i)}$  total massa dari elemen padatan yang berukuran  $\leq r_{s(i)}$  dan  $M_{s(i)}$  ditentukan secara langsung dengan menjumlahkan volume padatan yang berukuran  $\leq r_{s(i)}$

dikalikan dengan densitasnya  $d_s$ . Disini diasumsikan bahwa jika proses konstruksi diakhiri setelah iterasi T kemudian menetapkan kumpulan *fractal* F berhubungan dengan bahan-bahan yang berpori (*porous*). Jika  $d_s$  dan  $d_f$  dicatat sebagai densitas padatan (diasumsikan konstan) dan *bulk density* dari kumpulan F.

Menurut Bird *et al.* (2000) dan Anderson *et al.* (1996) fungsi retensi air dapat diperoleh dari pertimbangan porositas parsial dari PSF.

$$\theta = \Phi \left( \frac{h}{h_{min}} \right)^{D-d}, \quad h \geq h_{min} \quad (3)$$

$\theta$  adalah kandungan air volumetrik,  $\Phi$  merupakan porositas total dari tanah dan  $h_{min}$  dan  $h_{max}$  adalah hisapan dari pori terbesar dan terkecil yang secara eksplisit ditentukan dalam PSF. Fungsi ini identik dengan pernyataan umum dari fungsi retensi air yang ditemukan dari distribusi ukuran partikel hukum kekuatan yang ditemukan oleh Perrier *et al.* (1999) dan Perfect (1999).

Berdasarkan uraian di atas perlu dilakukan penelitian tentang penentuan kurva retensi air tanah dengan menggunakan pendekatan teori *fractal*. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui besarnya dimensi massa *fractal* dari kurva retensi air pada tanah entisol, mengetahui hubungan antara kadar air dan *suction* (hisapan) untuk menentukan kurva retensi air tanah dan mengetahui kurva retensi air tanah melalui pendekatan teori *fractal*.

### METODE PENELITIAN

Penelitian di lapangan dilakukan di daerah Wajak Kabupaten Malang, Jawa Timur. Analisis dari penelitian dilakukan di Laboratorium Daya dan Alat Mesin Pertanian, Laboratorium Teknik Tanah dan Air Fakultas Teknologi Pertanian dan Laboratorium

Fisika Tanah Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya pada bulan September 2007.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah: *ring* sampel, oven, *pressure plate*, kantong plastik, ayakan, bor tanah, timbangan analitik, tataan *ring* sampel, pisau, gelas ukur, alat penghancur tanah, kain kasa, sendok, silinder sedimentasi, dan desikator.

Bahan yang dipakai dalam penelitian ini adalah tanah entisol yang diambil dari daerah Wajak Kabupaten Malang, Jawa Timur. Pengambil contoh tanah secara utuh dengan menggunakan ring sampel dan tanah tidak utuh sebagai bahan untuk dianalisis. Contoh tanah yang sudah diambil kemudian dianalisis untuk menentukan data sifat fisik, mekanis tanah dan sifat-sifat air tanah. Parameter-parameter yang akan diamati pada penelitian ini adalah klas ukuran dan massa kumulatif, berat jenis volume tanah ( $\rho_b$ ) atau kerapatan massa (*bulk density*), berat jenis partikel tanah ( $\rho_p$ ), kadar air volume, porositas dan hisapan atau tegangan tanah.

Data yang diperoleh kemudian ditentukan kurva retensi airnya dengan membuat grafik hubungan antara kadar air dan hisapan. Dari data klas ukuran partikel dan massa kumulatifnya seperti pada persamaan (2) dengan transformasi logaritma kemudian dengan persamaan yang diperoleh disubstitusikan untuk menentukan besarnya nilai dimensi *fractal*  $D$  dan untuk menentukan pemetaan partikel tanah. Nilai  $D$  yang diperoleh kemudian dengan persamaan (3) ditentukan kurva retensi airnya. Kurva retensi air yang didapat dari beberapa nilai  $D$  kemudian dibandingkan dengan data dari hasil analisis tanah.

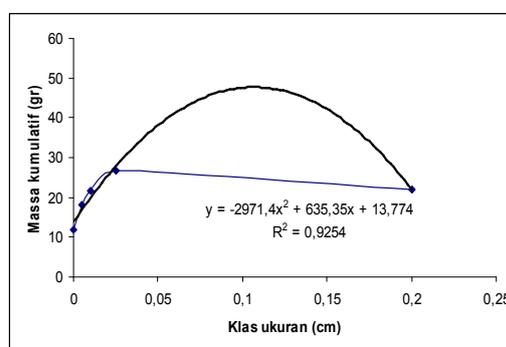
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Analisis Mekanis Entisol

Hasil analisis mekanis entisol dan hubungan antara massa kumulatif dan klas ukuran ditunjukkan pada Tabel 1 dan Gambar 1.

Tabel 1. Data analisis mekanis entisol

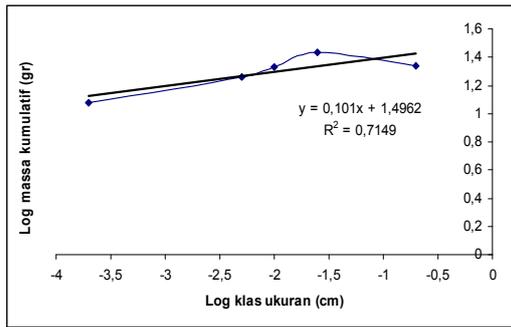
Entisol Klas Ukuran (cm)	Massa (gram)
0,2-0,025	22,0
0,025 - 0,010	26,8
0,010 - 0,005	21,6
0,005 - 0,0002	18
< 0,0002	12



Gambar 1. Hubungan antara massa kumulatif dan klas ukuran

Gambar 1 menunjukkan grafik hubungan antara massa kumulatif dan klas ukuran yang menunjukkan hubungan yang cenderung tidak linear. Hal ini dikarenakan tanah entisol memiliki tekstur pasir yang dominan yaitu pada klas ukuran 0,2-0,025 cm sebesar 22,0%, klas ukuran 0,025-0,010 cm sebesar 26,8%, dan klas ukuran 0,010-0,005 cm sebesar 21,6 cm.

Nilai dari persamaan regresi linear ini merupakan persamaan yang digunakan untuk memprediksi pemetaan klas ukuran partikel dengan massa kumulatifnya seperti terlihat pada Gambar 2. Nilai  $y$  pada persamaan regresi merupakan nilai logaritma dari massa kumulatif tanah sedangkan nilai  $x$  merupakan nilai logaritma dari ukuran partikel tanah.



Gambar 2. Hubungan antara log massa kumulatif dan log kelas ukuran

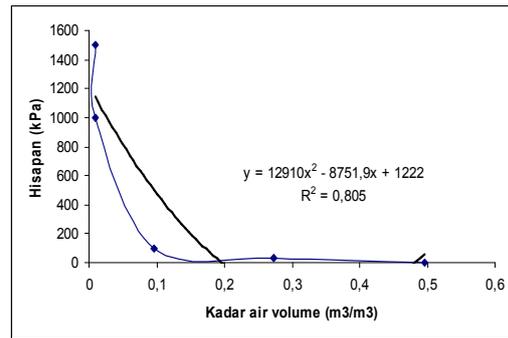
Semakin halus partikel tanah maka luas permukaan tanah akan semakin besar dan semakin banyak air yang diikat, sebaliknya semakin kasar partikel tanah maka luas permukaan tanah akan semakin kecil serta semakin sedikit air yang diikat.

Besarnya kadar air yang diperoleh pada masing masing hisapan (*suction*) hasil analisis mekanis diketahui bahwa semakin besar hisapan maka diperoleh kadar air yang semakin kecil. Hal ini disebabkan oleh adanya hubungan antara kadar air dengan kemampuan tanah menahan air. Semakin besar gaya hisapan yang diberikan kepada tanah maka akan semakin kecil kemampuan tanah menahan air sehingga diperoleh kadar air yang semakin kecil pula. Hal ini bisa dilihat pada data retensi air entisol yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai hisapan pada berbagai kadar air

Entisol Hisapan ( <i>Suction</i> ) (kPa)	Kadar Air m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
0,1	0,496
33	0,273
100	0,096
1000	0,010
1500	0,009

Hubungan antara hisapan dan kadar air volume entisol ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Hubungan antara hisapan dan kadar air volume

Persentase berbagai klas ukuran partikel tanah dan massa kumulatif dari entisol ditunjukkan pada Tabel 3. Hasil persentase kemudian digunakan untuk menentukan tekstur tanah yaitu dengan menggunakan diagram segitiga tekstur dan dari hasil analisis tekstur tanah menunjukkan bahwa entisol adalah tanah lempung berpasir. Hal ini ditunjukkan dari besarnya kandungan pasir yaitu sebesar 70,4%, sedangkan kandungan liat sebesar 12%.

Tabel 3. Persentase berbagai klas ukuran partikel tanah dan massa kumulatif

Entisol Jenis Fraksi	Ukuran (cm)	Persentase Fraksi (%)
Pasir	0,2-0,005	70,4
Debu	0,005-0,0002	18
Liat	<0,0002	12

### Dimensi *Fractal*

Nilai dimensi *fractal* diperoleh dengan menggunakan data klas ukuran dan massa kumulatif untuk masing-masing klas ukuran dari data ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai dimensi *fractal*

Entisol Substitusi Persamaan	Nilai D
a dan b	2,095
a dan c	1,994
a dan d	1,946
a dan e	1,822
b dan c	1,764
b dan d	1,753
b dan e	1,705
c dan d	1,738
c dan e	1,691
d dan e	1,645

Nilai dimensi *fractal* yang memenuhi sebagai nilai dimensi *fractal* pada permodelan ini adalah 1,645, 1,691, 1,705, 1,738, 1,753, 1,764, 1,822, 1,946, 1,994, dan 2,095. Nilai dimensi tertinggi yang diperoleh untuk  $2 < D < 3$  adalah 2,095, maka batas nilai tertinggi yang digunakan adalah 2,095. Hal ini untuk memperoleh nilai D yang sesuai untuk menghitung nilai retensi air agar sesuai dengan analisis mekanis tanah.

Hasil yang diperoleh berdasarkan dari permodelan nilai D yang memenuhi tersebut yakni nilai terkecil dari nilai D yang memenuhi sebesar 1,645 dan nilai D terbesar yang memenuhi sebesar 2,095. Berdasarkan nilai terbesar dan terkecil dijumlahkan dan kemudian diambil nilai tengahnya yang hasilnya merupakan nilai perkiraan D dan dari perhitungan diperoleh nilai D perkiraan sebesar  $1,87 \pm 0,225$ .

### Fungsi Retensi Air

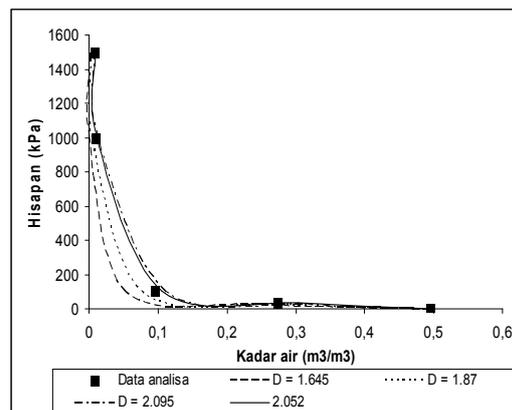
Nilai D perkiraan permodelan yang diperoleh tidak dapat digunakan untuk mencari retensi air sehingga dicari nilai D yang lain yang bisa digunakan dan nilai D yang cocok adalah  $D = 2,052$ . Nilai retensi air dari data dan nilai D ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Nilai retensi air dari data dan dari nilai D

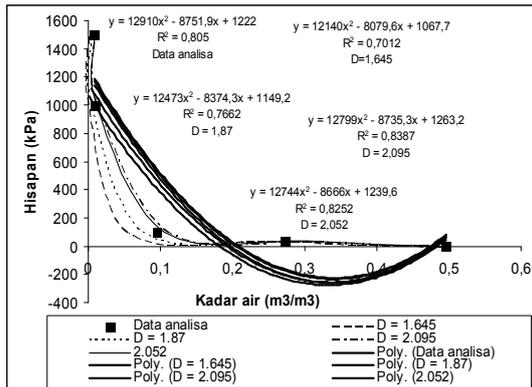
Hisapan (kPa)	Kadar Air ( $m^3/m^3$ )				
	Data Analisis	Nilai D			
		1,645	1,87	2,095	2,052
0,1	0,496	0,496	0,496	0,496	0,496
33	0,273	0,246	0,276	0,31	0,303
100	0,096	0,055	0,079	0,113	0,106
1000	0,010	0,002	0,006	0,014	0,012
1500	0,009	0,001	0,004	0,009	0,008

### Kurva Retensi Air

Jika digunakan nilai  $D = 1,645$  dan  $D = 1,87$  ternyata terlalu kecil untuk menduga suatu kurva retensi air, apabila digunakan  $D = 2,095$  hasil yang diperoleh juga tidak memuaskan karena hasilnya jauh dari analisis mekanis tanah. Agar diperoleh hasil yang sesuai dengan analisis retensi air tanah maka perlu menentukan nilai D yang lain dan dari perhitungan nilai yang memenuhi untuk digunakan adalah  $D = 2,052$ . Apabila digunakan  $D = 2,052$  diperoleh hasil yang mendekati data hasil analisis retensi air. Kurva retensi air dan model kurva retensi air ditunjukkan pada Gambar 4 dan 5.



Gambar 4. Kurva retensi air



Gambar 5. Model kurva retensi air

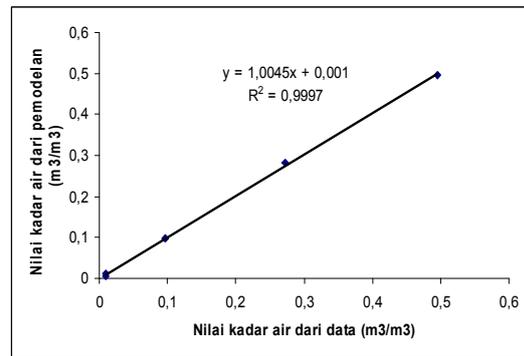
Gambar 5 menunjukkan bahwa persamaan regresi linear yang diperoleh dari data analisis adalah  $y = 12910x^2 - 8751,9x + 1222$  dengan koefisien determinasi  $R^2 = 0,805$ . Apabila persamaan regresi linear pada data analisis ini digunakan sebagai acuan untuk mengetahui nilai D yang mendekati dari permodelan maka terlihat bahwa nilai  $D = 2,052$  adalah hasil yang paling mendekati antara nilai D yang lain karena persamaan regresi dari  $D = 2,052$  adalah  $y = 12744x^2 - 8666x + 1239,6$  dengan koefisien determinasi  $R^2 = 0,8252$ . Jadi dari hasil ini dapat diperoleh bahwa nilai  $D = 2,052$  terdapat kesesuaian hasil antara kurva retensi air pada data hasil analisis dengan hasil perhitungan pada permodelan.

**Retensi Air dan Hisapan Permodelan**

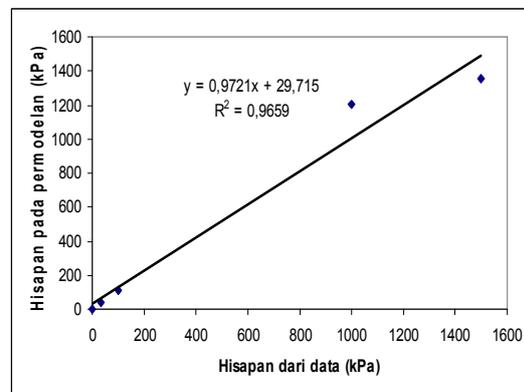
Hubungan antara nilai kadar air data dan dari permodelan yang ditunjukkan pada Gambar 6 dan hubungan antara hisapan dari data dan permodelan ditunjukkan pada Gambar 7.

Untuk nilai hisapan yang masih kecil, hasil perhitungan yang diperoleh tampak masih cukup baik, artinya nilai yang diperoleh dari perhitungan masih mendekati hasil dari analisis tanah karena masih berada dekat dengan garis slope. Pada hisapan 1000 dan 1500 kPa terlihat bahwa nilai yang diperoleh cukup jauh dari garis slope karena nilai hasil perhitungan

mempunyai selisih yang sangat besar dari nilai hasil analisis mekanis tanah.



Gambar 6. Hubungan antara nilai kadar air dari data dan permodelan



Gambar 7. Hubungan antara hisapan dari data dan permodelan

**KESIMPULAN**

Hasil perhitungan dengan menggunakan klas ukuran dan massa kumulatif diperoleh nilai dimensi *fractal* ( $D_m$ ) perkiraan sebesar  $1,87 \pm 0,225$ . Kurva retensi air permodelan diperoleh dengan hasil yang cukup baik pada nilai  $D = 2,052$ .

Hubungan antara kadar air dan hisapan adalah berbanding terbalik yaitu semakin besar kadar air maka hisapan semakin kecil dan semakin kecil kadar air maka hisapan semakin besar. Hal ini seperti terlihat pada persamaan regresi linier permodelan yaitu  $y = 12744x^2 - 8666x + 1239,6$  dengan koefisien determinasi  $R^2 = 0,8252$ .

Nilai retensi air permodelan mendekati nilai data nilai data analisis seperti pada persamaan regresi linear dari analisis tanah yaitu  $y = 12910x^2 - 8751,9x + 1222$  dengan koefisien determinasi  $R^2 = 0,805$  dan persamaan regresi linear pada permodelan adalah  $y = 12744x^2 - 8666x + 1239,6$  dengan koefisien determinasi  $R^2 = 0,8252$ .

#### DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, A. N., A. B. McBratney, and E. A. F. Patrick. 1996. Soil mass surface and spectral fractal dimensions estimated from thin section photographs. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60: 962 - 969
- Bird, N. R. A., E. Perrier, and M. Rieu. 2000. The water retention function for model of soil structure with pore and solid fractal distribution. *European of Soil Science* 51: 55 - 63
- Blevin, R. L. and W. W. Frye. 1993. Conservation tillage: an ecological approach to soil management. *Adv. Agron* 51: 33 - 78
- Siek, B. D. L., W. J. Rawls, S. D. Logsdon, and W. M. Edwards. 1992. Fractal description of macroporosity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 1721 - 1723
- Crawford, J.W., B. D. Sleeman dan I. M. Young. 1993. On the relation between number - size - distribution and the fractal dimension of aggregates. *J. Soil Sci.* 44: 555 - 565
- Darmawijaya. M. I. 1990. Klasifikasi Tanah. Dasar Teori Bagi Peneliti Tanah dan Pelaksanaan Pertanian di Indonesia. Gajah Mada University Press, Yogyakarta
- Perfect, E. 1999. Estimating soil mass fractal dimensions from water retention curves. *Geoderma* 88: 221 - 231
- \_\_\_\_\_ and R. L, Blevins. 1997. Fractal Characterization as Influenced by Tillage Treatment. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61: 896 - 900
- \_\_\_\_\_ and V. Rasiah. 1992. Fractal dimensions of agregat - size distribution calculated by number and mass. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 1407 - 1409
- \_\_\_\_\_. 1993. Multifractal model for soil aggregate fragmentation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57: 896 - 900
- Perrier, C., N. Bird and M. Rieu. 1999. Generalizing the fractal model of structure: the pore-solid fractal approach. *Geoderma* 88: 137 -164
- Rieu, M. and G. Sposito. 1991. Fractal fragmentation, soil porosity, and soil water properties. *J. Theory. Soil Sci. Soc. Am. J.* 55: 1239 - 1244
- Sutanto, R. 2005. Dasar-Dasar Ilmu Tanah, Konsep dan Kenyataaan. Kanisius, Yogyakarta
- Tyler, S. W. and S. W. Wheatcraft. 1989. Application of fractal mathematics of soil water retention estimation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53: 987- 996