

Pendekatan Teori *Fractal* untuk Menentukan Kurva Retensi Air pada Vertisol dan Alfisol Hasil Olah Tanah

Ruslan Wirosoedarmo¹⁾

¹⁾Staf Pengajar Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya Malang.

Abstract

The water retention in the soil is determined by distribution of soil particle measurement. The growth of the plants are influenced by the soil characters such as the structure, strength of the soil itself, the soil resistance to water. The retention of the water can be estimated exactly by using the distribution data of particle measurement. So far, the determination of the water retention curve used is by using *pressure plate*, which is set in any pF, so it needs longer time. Model of the water retention characteristic is based on *fractal* model of soil structure. Up to now, soil structure is difficult to be quantitative or on the other hand, it is stated in qualitative, but by using *fractal* theory of soil structure, it can be quantitative. *Fractal* approach to set the water retention characteristic is based on water structure named *Pore Solid Fractal (PSF)*. The model shows water retention characteristic related on water structure parameter, which means not only use the distribution of soil solid measurement related with model scaling.

The calculation results using mass and measure are obtained the value of fractal mass dimension (D_m) which is estimated for alfisol = 2.555 ± 0.454 , alluvial soil = 2.403 ± 0.332 and vertisol = 2.624 ± 0.419 . The curve of water resistance model is obtained in good result for alfisol with D value of 2.71, alluvial soil with D value of 2.735, and vertisol with D value of 2.878. Based on the mechanical soil analysis, it could get the alfisol volume weight = 1.248 gr/cm², alluvial soil = 1.107 gr/cm², and vertisol = 2.63 gr/cm², alfisol specific weight = 2.915 gr/cm³, alluvial soil = 2.42 gr/cm³, and vertisol 2.63 gr/cm³, and alfisol porosity = 0.487 m³/m³, alluvial soil = 0.501 m³/m³ and vertisol 0.605 m³/m³. Vertisol has the biggest D value, while alfisol has the smallest one. Vertisol has the biggest water composition value, while alfisol has the smallest one. It's because there is much pliable composition in vertisol. The D value correlation is in line with the water composition, i.e. the higher of water composition, the higher of D value.

Key Words : fractal theory, model of soil structure, vertisol, alfisol

Abstrak

Penyimpanan air dalam tanah banyak ditentukan oleh distribusi ukuran partikel tanah. Pertumbuhan tanaman sangat dipengaruhi oleh sifat fisik tanah seperti tekstur, struktur, kekuatan tanah dan kemampuan tanah menahan air. Retensi air tanah dapat diduga sangat tepat dengan menggunakan data distribusi ukuran partikel. Selama ini penentuan kurva retensi air yang umum digunakan adalah dengan menggunakan alat *pressure plate* yang distel pada berbagai pF sehingga membutuhkan waktu yang terlalu lama. Model karakteristik retensi air didasarkan pada model *fractal* dari struktur tanah. Selama ini struktur tanah sulit untuk dikuantitatifkan atau dengan kata lain dinyatakan dalam kualitatif, namun dengan teori *fractal* struktur tanah dapat dikuantitatifkan. Pendekatan *fractal* untuk permodelan karakteristik retensi air tanah didasarkan pada model struktur tanah yang disebut dengan nama *fractal* padatan pori atau *pore solid fractal (PSF)*. Model ini secara umum menunjukkan karakteristik retensi air tanah dihubungkan dengan parameter struktur tanah yaitu tidak hanya menggunakan distribusi ukuran padatan tanah dalam hubungannya dengan penskalaan model.

Hasil perhitungan dengan menggunakan klas ukuran dan massa kumulatif diperoleh nilai dimensi massa *fractal* (D_m) perkiraan untuk alfisol sebesar 2.555 ± 0.454 , tanah alluvial 2.403 ± 0.332 dan vertisol sebesar 2.624 ± 0.419 . Kurva retensi air permodelan diperoleh dengan hasil yang cukup baik pada alfisol nilai D = 2.71, tanah alluvial nilai D = 2.735 dan vertisol nilai D = 2.878. Berdasarkan analisa mekanis tanah diperoleh berat isi alfisol adalah 1.248 gr/cm³, tanah

alluvial adalah 1.107 gr/cm³ dan vertisol adalah 0.95 gram/cm³, berat jenis alfisol 2.915 gr/cm³, tanah alluvial 2.42 gr/cm³ dan vertisol 2.63 gram/cm³ dan porositas alfisol 0.487 m³/m³, tanah alluvial 0.501 m³/m³ dan vertisol 0.605 m³/m³. Nilai D terbesar diperoleh pada vertisol dan nilai D terkecil diperoleh pada alfisol. Nilai kadar air terbesar pada vertisol dan terkecil pada alfisol. Hal ini disebabkan banyaknya kandungan liat yang dimiliki oleh vertisol. Nilai D berbanding lurus dengan nilai kadar air yaitu semakin tinggi nilai kadar air maka nilai D semakin tinggi.

Kata Kunci : teori fractal, model struktur tanah, vertisol, alfisol

Pendahuluan

Kemampuan tanah ditentukan oleh sifat fisik dan sifat kimianya maka penting untuk mengetahui sifat fisik dan kimianya. Pertumbuhan tanaman sangat dipengaruhi oleh sifat-sifat fisik tanah seperti tekstur, struktur dan kekuatan tanah. Kemampuan tanah untuk menahan air harus mendapatkan perhatian serius agar tidak mengganggu ketersediaan air tanah dalam upaya mendapatkan produksi tanaman yang optimum. Untuk memperbaiki kemampuan tanah dalam menahan air salah satunya dengan memperbaiki struktur, distribusi ukuran partikel serta tekstur tanah.

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

Selama ini analisa sifat fisik tanah membutuhkan banyak waktu, biaya dan hasilnya ditunjukkan secara kualitatif. Pada akhir-akhir tahun sembilan puluhan telah dikembangkan konsep teori *fractal* untuk menganalisa 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).

Metode Penelitian

Penelitian di lakukan di lapangan dan di laboratorium. Penelitian lapangan dilakukan pada Balai Benih dan Palawija Bedali Malang untuk Alfisol, lahan di lingkungan Universitas Brawijaya Malang untuk tanah alluvial dan Instalasi Penelitian Kacang-kacangan dan Umbi di Ngale Ngawi Jawa Timur untuk Vertisol. Penelitian dilakukan pada tanah hasil olah tanah. Analisa penelitian dilakukan di laboratorium Daya dan Alat Mesin Pertanian, Laboratorium Teknik Tanah dan Air Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Brawijaya dan Laboratorium Fisika Tanah Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya. Penelitian telah dilakukan pada bulan Juli sampai Oktober 2001.

Nilai dimensi *fractal* dicari lebih dulu dengan menggunakan transformasi logaritma persamaan 2 dan kurva retensi air diduga dengan persamaan 3.

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

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

$M_{s(i)}$ 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.

Fungsi retensi air dapat diperoleh dari pertimbangan porositas parsial dari PSF.

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

Dimana θ adalah kandungan air volumetrik, Φ 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 (1996).

Vertisol adalah tanah yang mempunyai ketebalan sekitar 50 cm, mempunyai 30 % atau lebih liat disemua horison dan terjadi retakan (*cracking*) 1 cm lebar dengan kedalaman 50 cm (tanpa irigasi) pada beberapa waktu setiap tahun (Foth, 1984). Tanah vertisol umumnya mempunyai unsur hara yang tinggi. Tanah didominasi oleh montmorilonit sering terjadi gilgai (*microrelief* pada tanah akibat ekspansi dan kontraksi dengan berubahnya kelembaban). Pada musim kering tanah menjadi kering, mengkerut dan pecah sampai membentuk prisma. Di musim basah tanah mengembang.

Batasan jenis tanah utama Tanah Merah (Mediterranean setara dengan Luvisol dan alfisol) menurut Soeprahardjo (1997) yang dimodifikasi adalah: tekstur, geluh-lempung max dalam B₂, warna kuning-merah; warna stabil chroma tinggi, struktur gumpal-prismatik teguh, konsistensi teguh,

kesuburan medium tinggi dan ciri lain campuran lempung 2:1 dan 1:1.

Hasil Penelitian

Berdasarkan hasil analisa mekanis tanah yang diambil didapatkan data seperti pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Data mekanis Alfisol dan vertisol

| Klas ukuran (cm) | Massa (gram) Vertisol | Massa (gram) Alfisol |
|------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 0,2 - 0,025 | 0.384 | 7.829 |
| 0,025 - 0,01 | 0.598 | 6.244 |
| 0,01 - 0,005 | 0.910 | 34.457 |
| 0,005 - 0,0002 | 18.544 | 29.253 |
| <0,0002 | 79.564 | 22.224 |
| Berat isi | 0,95 gr/cm ³ | 1.21 gr/cm ³ |
| Berat jenis | 2,17gr/cm ³ | 3.071 gr/cm ³ |
| Porositas | 0,560m ³ /m ³ | 0.493 m ³ /m ³ |

Tabel 2. Data mekanis hisapan dan kadar air tanah pada Alfisol dan Vertisol.

| Hisapan data (kPa) | Kadar air (m ³ /m ³) Vertisol | Kadar air (m ³ /m ³) Alfisol |
|--------------------|--|---|
| 0,1 | 0,6004 | 0.629 |
| 33 | 0,5920 | 0.565 |
| 100 | 0,5310 | 0.043 |
| 1000 | 0,3990 | 0.243 |
| 1500 | 0,3810 | 0.226 |

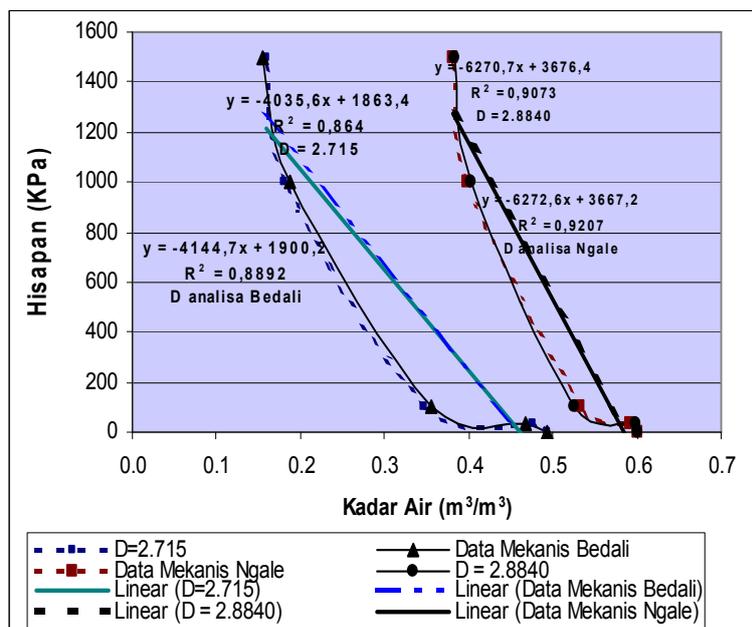
Berdasarkan hasil analisa mekanis (Tabel 1) dapat dikelompokkan ke dalam tekstur tanah dan dengan segitiga tekstur maka tekstur tanah alfisol adalah debu berpasir dan vertisol adalah liat.

Untuk menentukan dimensi *fractal* dengan menggunakan klas ukuran dan massa kumulatif dari data Tabel 1. Dengan transformasi logaritma dari persamaan 2 akan diperoleh nilai dimensi *fractal*. Apabila ξL^D diasumsikan suatu nilai

konstan yang didefinisikan sebagai bulk volume, d_s diasumsikan berat jenis padatan, s_{s+p} diasumsikan sebagai nilai dari berat isi dan $r_{s(i)}$ sebagai batas tertinggi pada masing-masing klas ukuran maka diperoleh nilai D perkiraan alfisol sebesar 2.556 ± 0.405 dan vertisol sebesar 2.5616 ± 0.4188 . Nilai D merupakan nilai dimensi massa *fractal* karena berhubungan dengan massa kumulatif tanah pada berbagai klas ukuran.

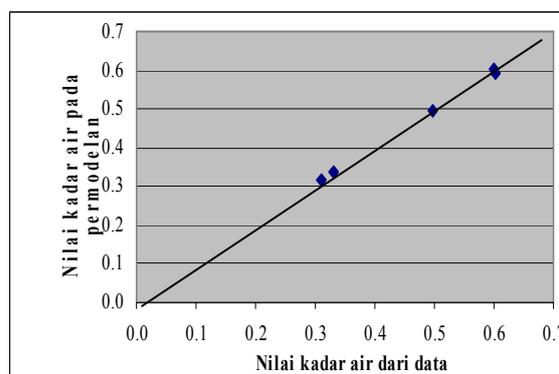
Nilai D yang diperoleh dari perhitungan digunakan sebagai parameter fungsi retensi air pada persamaan 3 dan nilai porositas total yang terukur dari analisa mekanis alfisol sebesar $0.493 \text{ m}^3/\text{m}^3$ dan vertisol sebesar $0.6004 \text{ m}^3/\text{m}^3$. Dari ketiga tanah nilai hisapan terbesar pada vertisol dan terkecil pada alfisol. Perhitungan retensi air menggunakan nilai d sebagai dimensi Euclidean 3 karena pengukuran retensi air menggunakan ruang tiga dimensi. Parameter lain yang digunakan adalah h_{min} dan besarnya hisapan minimal yang diperoleh adalah alfisol sebesar 28.0027 kPa dan vertisol sebesar 30.69 kPa.

Persyaratan persamaan 3 yang harus dipenuhi adalah besarnya nilai $h_{min} \leq h$ sehingga nilai hisapan data yang digunakan adalah 33, 100, 1000 dan 1500 kPa. Berdasarkan berbagai nilai D perhitungan digunakan untuk menduga kurva retensi air sehingga didapatkan perbandingan kurva retensi air dari hasil perhitungan pada berbagai perkiraan nilai D seperti terlihat pada Gambar 1. Kurva retensi air diperoleh dengan hasil yang cukup baik pada nilai D untuk alfisol yaitu 2.71 dan vertisol 2.8840. Nilai D terbesar diperoleh pada vertisol dan terkecil pada alfisol hal ini mungkin disebabkan oleh banyaknya kandungan liat pada vertisol sehingga kadar air yang diperoleh besar sehingga hubungan antara kadar air dan nilai D adalah berbanding lurus.

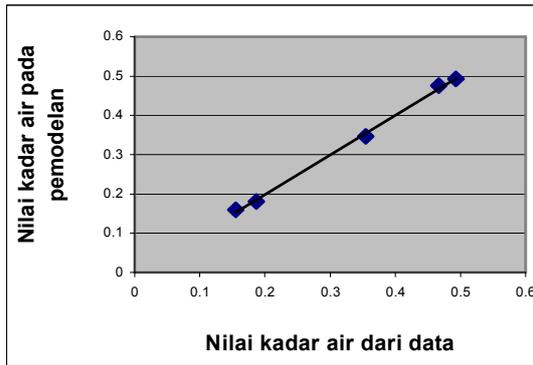


Gambar 1 Kurva retensi air pada berbagai nilai D yang memenuhi. Alfisol D=2.71; vertisol D=2.8840.

Perbandingan data percobaan dan permodelan apabila digunakan nilai D diperoleh hasil seperti pada Gambar 2 yaitu perbandingan antara kadar air data dan kadar air permodelan dan Gambar 3 yang merupakan perbandingan antara hisapan data dan hisapan permodelan. Perbandingan ini dimaksudkan untuk mengetahui hasil perhitungan dengan persamaan 3 dengan hasil analisa mekanis tanah.



A

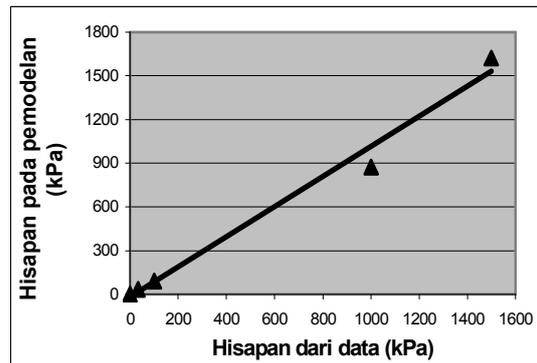


B

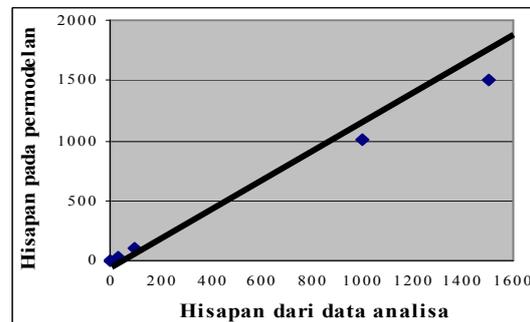
Gambar 2 Perbandingan antara nilai kadar air hasil perhitungan permodelan dengan nilai kadar air hasil analisa tanah. (A) alfisol; (B) vertisol.

Gambar 2 menunjukkan perbandingan antara kadar air hasil perhitungan permodelan dengan kadar air hasil analisa mekanis apabila diplotkan kedalam grafik dengan slope 1.00 adalah hampir sama karena nilai yang tercantum pada gambar berada disekitar garis slope. Untuk nilai hisapan seperti pada Gambar 3 tampak bahwa pada hisapan yang masih kecil hasil yang diperoleh dari perhitungan tampak masih cukup baik artinya nilai yang diperoleh dari perhitungan masih mendekati hasil dari analisa tanah karena masih berada dekat dengan garis slope sedangkan 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 analisa mekanis tanah. Hal ini terjadi karena nilai hisapan berbanding terbalik dengan hisapan minimal dan dengan semakin besar nilai hisapan yang dimasukkan dalam perhitungan maka diperoleh nilai perbandingan antara hisapan dengan nilai hisapan minimal yang besar sedangkan nilai pangkat pada $D - d$ adalah negatif sehingga semakin besar nilai yang dipangkatkan hasilnya semakin kecil sehingga hasil yang

diperoleh tidak memuaskan, jadi dengan adanya nilai yang berbeda jauh pada hisapan yang sangat tinggi maka perlu adanya pembatasan nilai hisapan yang dihitung sehingga permodelan ini bisa digunakan. Selain itu kemampuan tanah itu sendiri sebagai media yang porous juga terbatas untuk menerima hisapan atau gaya yang mengenai tanah tersebut.



A



B

Gambar 3 Perbandingan antara nilai hisapan hasil perhitungan pada permodelan dengan nilai hisapan hasil analisa mekanis tanah. (A) alfisol; (B) vertisol.

Hisapan pada tanah yang semakin besar akan menyebabkan kadar air pada tanah tersebut semakin kecil. Hubungan ini sangat penting untuk mempelajari tentang tanaman yang cocok untuk suatu lahan karena kita tahu tanaman melakukan transpirasi air dari dalam tanah untuk kebutuhannya. Selain itu faktor evaporasi sangat berpengaruh terhadap kadar air tanah.

Kesimpulan dan Saran

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. Hasil perhitungan dengan menggunakan klas ukuran dan massa kumulatif diperoleh nilai dimensi massa *fractal* (D_m) perkiraan untuk alfisol sebesar 2.555 ± 0.454 dan vertisol sebesar 2.5616 ± 0.4188 . Kurva retensi air permodelan diperoleh dengan hasil yang cukup baik pada alfisol nilai $D = 2.71$ dan vertisol nilai $D = 2.884$. Berdasarkan analisa mekanis tanah diperoleh berat isi alfisol adalah 1.21 gram/cm^3 dan vertisol adalah 0.95 gram/cm^3 , berat jenis alfisol 3.071 gram/cm^3 dan vertisol 2.17 gram/cm^3 dan porositas alfisol $0.487 \text{ m}^3/\text{m}^3$ dan vertisol $0.605 \text{ m}^3/\text{m}^3$. Tekstur alfisol adalah debu berpasir dan vertisol adalah tanah liat. Nilai D terbesar diperoleh pada vertisol dan nilai D terkecil diperoleh pada alfisol. Nilai kadar air terbesar pada vertisol dan terkecil pada alfisol. Hal ini disebabkan banyaknya kandungan liat yang dimiliki oleh vertisol. Nilai D berbanding lurus dengan nilai kadar air yaitu semakin tinggi nilai kadar air maka nilai D semakin.

Pada permodelan ini perlu adanya suatu pembatasan nilai-nilai dimensi *fractal* yang diperhitungkan sehingga bisa digunakan sesuai dengan kondisi sebenarnya. Perlu pengembangan penelitian untuk mencari nilai dimensi massa *fractal* pada vertisol yang diolah dan jenis tanah lain

Daftar Pustaka

- Bird, N.R.A., E. Perrier dan M. Rieu. 2000. The Water Retention Function for Model of Soil Structure With Pore and Solid Fractal Distribution. European of Soil Science. 51. p. 55 - 63.
- Foth, H.D. 1984. Fundamentals of Soil Science. John Willey & Sons. New York.
- Perrier, C., N. Bird dan M. Rieu. 1999. Generalizing the fractal model of structure: The pore - solid fractal approach. Geoderma 88. p. 137 - 164.
- Tyler, S.W. dan S.W. Wheatcraft. 1989. Application of fractal mathematics of soil water retention estimation. Soil Sci. Soc. Am. J. 53. p. 987 - 996.
- Tyler, S.W. dan S.W. Wheatcraft. 1992 a. Fractal scalling of soil particle - size distribution: Analysis and limitations, Soil Sci. Soc. Am. J. 56. p. 362 - 369.