

# PENENTUAN TRANSMISIVITAS DAN POROSITAS EFEKTIF UNTUK MENGAJAI PROSES GERAKAN AIR TANAH PADA LAHAN HETEROGEN

Mahmud Achmad<sup>1)</sup> dan Sigit Supadmo Arif<sup>2)</sup>

## ABSTRACT

The main purpose of this research is to determine properties of non-homogeneous ill-drained area which are reflected by transmissivity and effective porosity. The flow of water was analyzed using Darcy law and Boussinesq equations which were developed based on analogy theory of heat conduction to 2-Dimension (pseudo 3-D) of transient water flow. Based on the formula, transmissivity and effective porosity have been determined through mathematical model. The model needs daily deep water table as the main data. The model was tested in PG Jatitujuh Cirebon. The transmissivity and effective porosity information were very useful to solving drainage problems in the ill-drained area.

Result of iteration method indicated that the land have  $\mu$  and  $S$  are 0,070 - 0,698 m/m and 0,10 - 91,0 m<sup>2</sup>/day respectively. A R-square test was used to compare deep water table between observation data and output model each of bore hole, and was found average R-square is 0,8519 and standard of error is 0,0981.

**Keywords:** drainage, effective porosity, non-homogeneous soil media, mathematical model, transmissivity

## I. Pendahuluan

Indonesia yang terletak di wilayah beriklim tropis basah mempunyai sifat yang sangat khas. Hujan turun beberapa bulan berturut-turut diikuti dengan bulan-bulan kering. Hujan tersebut menjadi sumber air utama bagi sistem usahatani tetapi juga dapat menjadi penyebab utama kegagalan panen akibat kelebihan air di beberapa tempat tertentu dengan masalah pengatusan (*ill-drained area*).

Keberadaan masalah pengatusan ini tentu saja akan sangat mengganggu program pemerintah untuk mengembangkan tanaman berbasis industri yang peka terhadap kelebihan air. Untuk mengatasi masalah pengatusan tersebut diperlukan data dan informasi tentang watak lahan dan sumber air berlebih, sehingga kriteria dan kebutuhan pengatusan dapat ditentukan. Keterbatasan prasarana, dana, dan sumberdaya manusia menjadi kendala untuk memperoleh data dan informasi tersebut, sehingga analisis dilakukan dengan beberapa pendekatan dan asumsi (Arif, 1992).

Makalah ini mencoba untuk menentukan watak lahan rawan pengatusan dengan transmissivitas yang sangat beragam, melalui pemakaian analisis gerakan airtanah. Informasi tentang transmissivitas tersebut akan sangat berguna bagi upaya menyelesaikan masalah pengatusan di lahan rawan pengatusan.

## II. Metode

### 2.1. Landasan Teori

Hukum dasar yang menggambarkan pergerakan air dalam tanah telah dikembangkan oleh Darcy pada tahun 1856, dengan melakukan pengamatan pada pengaliran air yang melalui sampel tanah. Dari pengamatan ini disimpulkan secara matematis bahwa laju aliran,  $Q$  (L<sup>3</sup>T<sup>-1</sup>) mengikuti persamaan:

$$Q = K A \frac{\Delta h}{L} \quad (1)$$

Keterangan:

- $K$  = konduktivitas hidraulik jenuh (LT<sup>-1</sup>),
- $\Delta h$  = perbedaan tinggi tekan (L),
- $L$  = panjang sampel (L), dan
- $A$  = penampang pengaliran (L<sup>2</sup>).

Berdasarkan hukum Darcy, Boussinesq (1903) mengembangkan konsep gerakan airtanah berupa persamaan aliran airtanah 2-D (*pseudo 3-D*) dari formula teori konduksi (*transient flow*). Persamaan *heterogen (non-homogeneous)*, media isotropik, kondisi tak-tunak (*unsteady state*) dapat dituliskan:

$$KD \cdot \left( \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} \right) = \mu \frac{\partial h}{\partial t} - R \quad (2)$$

Keterangan:

- $h$  = tinggi muka airtanah (L)
- $t$  = waktu (T)
- $K$  = konduktivitas hidraulik jenuh (LT<sup>-1</sup>)
- $D$  = tinggi lapisan kedap atau semi kedap (L)
- $x, y$  = posisi kordinat horisontal (L)
- $\mu$  = porositas efektif pengatusan (tak berdimensi)
- $R$  = laju masukan air melalui lapisan permukaan (LT<sup>-1</sup>)

Penerapan persamaan (2) dalam penyelesaian gerakan airtanah membutuhkan data sifat fisik lahan berupa konduktivitas hidraulik, profil lapisan tanah dan porositas efektif, yang dapat diperoleh melalui pengukuran di laboratorium dan metode lapang. Metode ini akan efektif bila lahan kajian bersifat homogen, akan tetapi kondisi ini

<sup>1)</sup> Staf Pengajar Teknologi Pertanian FPK Universitas Hasanuddin Ujungpandang.

Mahasiswa Pasca Sarjana Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.

<sup>2)</sup> Staf Pengajar Teknik Pertanian FTP Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.

jarang terjadi di lapangan dan umumnya lahan bersifat heterogen. Teori Boussinesq tersebut telah diterapkan oleh Murtiningrum dan Arif (1997) untuk penyusunan model operasi sumur pompa berkelanjutan menggunakan metode iterasi ADI (*Alternating Direction Implicit*).

Untuk kondisi wilayah yang heterogen metode pengukuran laboratorium dan lapang secara langsung untuk penentuan konduktivitas hidraulik, profil lapisan tanah dan porositas efektif akan membutuhkan banyak waktu dan biaya, sehingga perlu dicari alternatif yang lebih sederhana.

Salah satu cara yang dapat dilakukan adalah dengan menggunakan Hukum Darcy dan Boussinesq sebagai alat untuk menentukan transmisivitas dan porositas efektif melalui metode komputasi numerik tinggi tekan airtanah.

## 2.2. Cara Penelitian

### • Penyusunan Program Pendugaan Tinggi Airtanah

Metode iterasi untuk penentuan sifat fisik lahan dapat dilakukan dengan memasukkan data jeluk muka airtanah di beberapa tempat sesuai dengan sifat lahan ke dalam model gerakan airtanah menurut Boussinesq dalam persamaan (2). Berdasarkan metode numerik, jika nilai perkalian K dan D diringkaskan menjadi transmisivitas (S), maka untuk beda jarak x dan y yang sama, penyelesaian persamaan (2) dengan metode pendekatan eksplisit beda hingga (*explicit finite difference approximation*) dapat dituliskan menjadi:

$$h_{i,j}^{t+\Delta t} = h_{i,j}^t + \frac{1}{\mu_{i,j}} \left[ S_{i,j} \left( \frac{[h_{i+1,j}^t + h_{i-1,j}^t + h_{i,j+1}^t + h_{i,j-1}^t] - 4h_{i,j}^t}{(\Delta x)^2} \right) + R \right] \Delta t \quad (3)$$

Bila gerakan air dianalisis secara harian, dengan dimulai pada kondisi waktu  $t = 0$ , maka dapat dituliskan kondisi awal jeluk airtanah pada sembarang titik adalah  $h(i,j,t) = h(i,j,0)$ , sehingga kondisi batas digunakan adalah:

$$\begin{aligned} &h(0,j,t); h(n,j,t); \\ &h(i,0,t); \text{ dan } h(i,n,t) \end{aligned}$$

dengan i dan j adalah menyatakan jarak (dimensi panjang) yang bergerak dari 0 sampai n, n adalah titik terjauh dari sumbu (0,0), dan t adalah waktu.

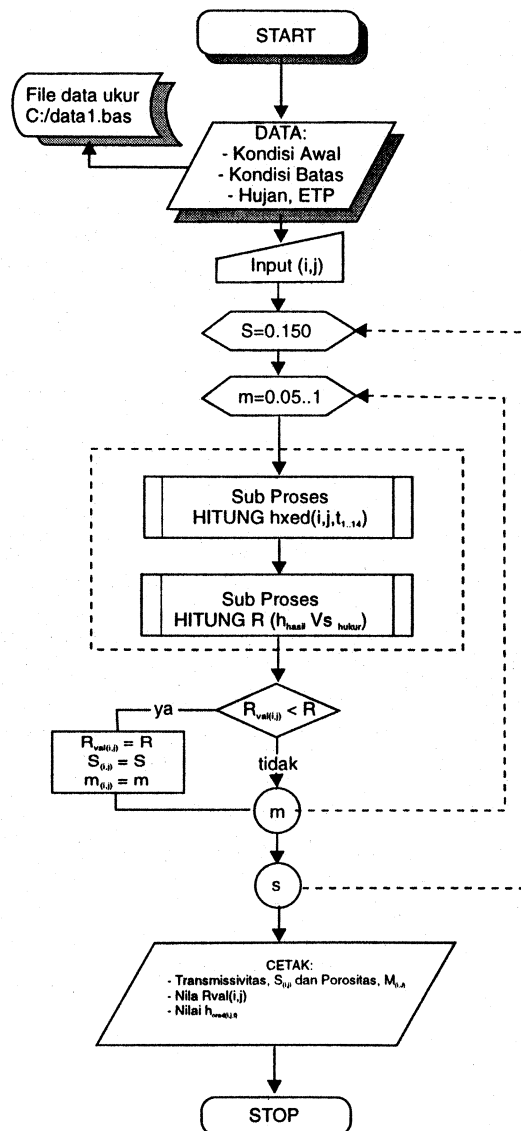
Kondisi awal dan kondisi batas di atas ini digunakan untuk melakukan simulasi pendugaan sifat fisik lahan yakni transmisivitas (S) dan porositas efektif pengatusan ( $\mu$ ) dengan menggunakan suatu bahasa pemrograman. Diagram alir program utama (*main program*) dapat dilihat pada Gambar 1.

### • Cara Pengumpulan Data dan Analisis

Pengamatan dilakukan di areal perkebunan PG. Jatitujuh Cirebon dengan sampel seluas 56,25 ha dan dibuat pipa sumur pengamatan (*bore hole*) sebanyak 49 buah (grid 7 X 7) dengan jarak antara sumur pengamatan sebesar 125m. Pengamatan dilakukan selama 30 hari berturut-turut.

Keabsahan model dianalisis dengan metode koefisien korelasi,  $r$  dimana setiap hasil hitungan pada  $\mu$  dan S tertentu selalu dihitung dan ditetapkan dari nilai  $r$  terbesar.

$$r = \sqrt{1 - \frac{\left[ \sum_{i=1}^I (h_p - h_{it})^2 \right]^{0.5}}{\left( \sum_{i=1}^I h_{it} \right)^2}} \quad (4)$$



Gambar 1. Diagram alir program utama model aliran transien dan iterasi parameter sifat fisik lahan

## III. Hasil dan Pembahasan

Setelah melakukan iterasi parameter model, diperoleh hasil nilai sifat fisik lahan berupa nilai transmisivitas (S) dan porositas efektif pengatusan ( $\mu$ ) seperti pada Tabel 1 :

Tabel 1. Hasil iterasi transmisivitas dan porositas efektif

		Posisi j = 1..5				
		1	2	3	4	5
1	$\mu$	0.059	0.079	0.151	0.074	0.122
	S	10.00	0.10	34.70	13.10	75.00
2	$\mu$	0.109	0.128	0.128	0.139	0.070
	S	6.90	3.40	12.90	91.00	0.12
3	$\mu$	0.698	0.138	0.126	0.130	0.216
	S	52.30	0.60	3.90	0.20	11.30
4	$\mu$	0.087	0.157	0.151	0.082	0.124
	S	10.60	18.90	1.40	13.00	0.15
5	$\mu$	0.116	0.150	0.179	0.122	0.290
	S	11.90	5.20	26.20	0.50	1.20

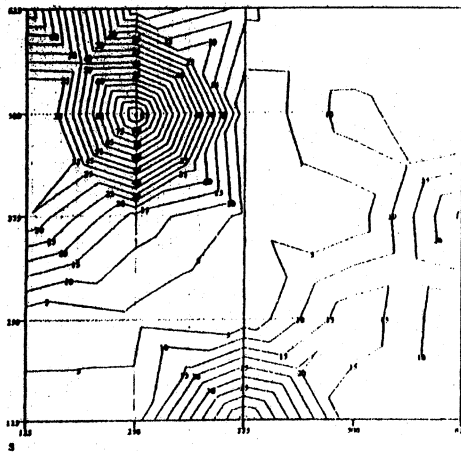
Sumber : Hasil Iterasi Parameter, 1997

Kisaran harga  $\mu$  dan S masing-masing adalah 0,070 – 0,698 m/m dan 0,10 – 91,0 m<sup>2</sup>/hari. Nilai  $\mu$  tanah lempung

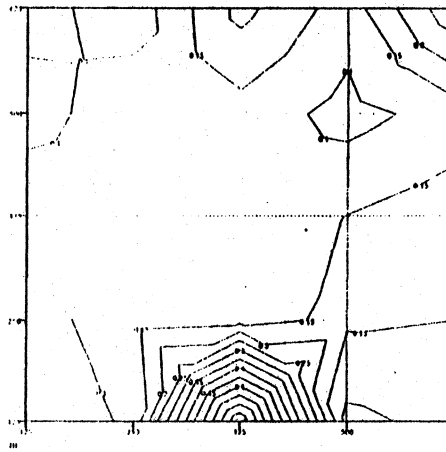
berdasarkan hasil pengukuran lapang diperoleh rata-rata 0,2039 m/m, sedangkan menurut Brady (1974) dalam Fagi dan Tangkuman (1985) diperoleh nilai  $\mu = 0,19 - 0,35$  m/m dengan rerata 0,27 m/m. Sedangkan untuk pembandingan S digunakan nilai konduktivitas hidraulik, K. Dari nomograph U.S. Bureau of Reclamation (1978) untuk tanah lempung diperoleh nilai K sebesar 0,05 – 0,48 m/hari, sedang dengan metode pemompaan diperoleh nilai K 0,036 – 0,190 m/hari (rerata 0,099 m/hari).

Untuk nilai  $\mu$  kisaran hasil iterasi menunjukkan harga lebih besar dibandingkan harga yang dikemukakan oleh Brady (1974). Jika diasumsikan kedalaman lapisan kedap homogen sebesar 10 m maka diperoleh nilai K iterasi sebesar 0,01 – 9,1 m/hari. Nilai konduktivitas ini juga mempunyai kisaran yang lebih lebar dibandingkan dengan nilai dari nomograph dan hasil dengan metode pemompaan. Hal ini menunjukkan bahwa lahan yang dikaji sangat heterogen. Heterogenitas ini terlihat jelas pada Gambar 2.

Hasil pengujian ketepatan transmisivitas dan porositas efektif pada model gerakan airtanah memberikan hasil diagram pencar antara tinggi muka airtanah pengukuran dengan prediksi dan diperoleh nilai seperti terlihat pada Gambar 3.

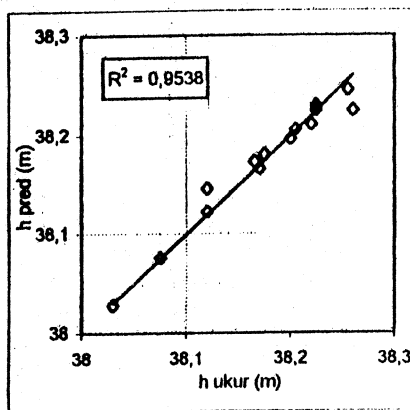


(a)

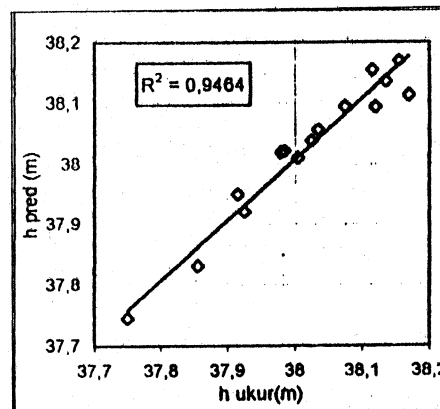


(b)

Gambar 2. Distribusi nilai parameter model : (a) Transmisivitas dan (b) Porositas



(a)



(b)

Gambar 3. Diagram pencar tinggi muka airtanah: (a) TP(125,500);(b) TP(125,625)

Untuk titik pengukuran (TP) yang lain nilai R-kuadrat pengujian disajikan pada Tabel 2:

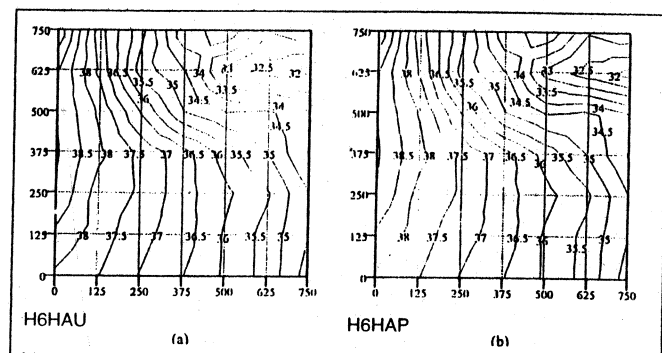
Tabel 2. Hasil uji R-Kuadrat pada setiap titik pengukuran (TP)

	Posisi (j)				
	1	2	3	4	5
1	0,7657	0,9629	0,9538	0,9464	0,9017
2	0,8649	0,9190	0,8939	0,8181	0,9658
3	0,8895	0,9632	0,9097	0,8175	0,8961
4	0,8029	0,7672	0,8187	0,6899	0,6093
5	0,6868	0,9287	0,8894	0,9077	0,7284

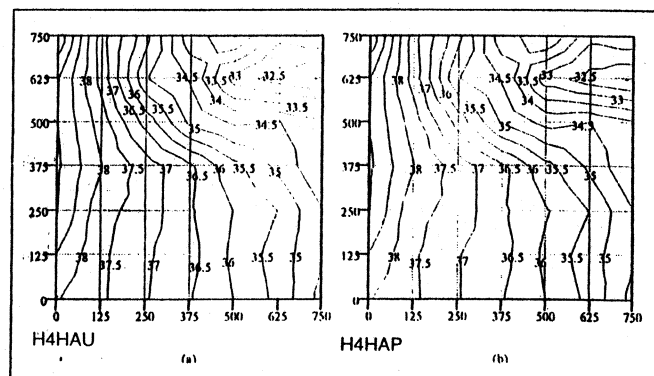
Sumber : Hasil Hitungan, 1997

Nilai R-kuadrat titik pengamatan hasil perhitungan yang tertera pada Tabel 2 di atas menunjukkan nilai yang dapat diterima secara statistika dengan nilai rerata dan standar deviasi R-kuadrat masing-masing sebesar 0,8519 dan 0,0981. Dengan uji statistika yang dilakukan, maka nilai parameter transmisivitas lahan dan porositas efektif pengatusan dapat diterima dan sah untuk digunakan pada model gerakan airtanah di wilayah kajian.

Hasil pendugaan airtanah wilayah dengan menggunakan parameter hasil iterasi dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Kontur airtanah hari ke-6: (a) Pengukuran, (b) Prediksi



Gambar 5. Kontur airtanah hari ke-14: (a) Pengukuran, (b) Prediksi

Bila semua nilai tinggi muka airtanah (pengukuran dan prediksi) diuji dengan menggunakan uji statistika (uji  $t$ ) maka diperoleh hasil bahwa ternyata hasil pengukuran dengan prediksi tidak menunjukkan perbedaan yang nyata ( $t_{hit} = 510,029$ ) dan dianggap korelasi sangat erat ( $r = 0,999332$ ).

Berdasarkan hasil yang telah diperoleh dapat dinyatakan bahwa dengan menggunakan parameter transmisivitas lahan dan porositas efektif pengatusan hasil iterasi, maka dapat dilakukan analisis gerakan airtanah dengan hasil yang dapat diterima secara statistika.

#### IV. Kesimpulan dan Saran

Dari hasil penelitian ini dapat ditarik kesimpulan bahwa:

1. Nilai transmisivitas lahan dan porositas efektif lahan dapat ditentukan melalui metode iterasi pada model gerakan airtanah.
2. Nilai transmisivitas dan porositas efektif lahan hasil iterasi memberikan hasil secara akurat pada proses analisis gerakan airtanah pada lahan heterogen.

Perlu dilakukan analisis lanjutan berupa penelitian langsung terhadap transmisivitas dan porositas efektif lahan melalui survei hidropedologi dan uji laboratorium.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Arif, S.S., 1992. *Penaksiran Masalah Pengatusan Dakhil Lahan Persawahan Mekanis di Perum Sang Hyang Seri Sukamandi*. Makalah dalam diskusi antara Direksi Perum S.H.S. dan Jurusan Mekanisasi Pertanian FTP UGM, Yogyakarta
- Dieleman, P.J. and de Ridder, N.A., 1979. *Elementary Groundwater Hydraulics. dalam Drainage Principles and Applications* Publ. 16 Vol. I ILRI, Wageningen. h:153 – 199.
- Fagi, A.M. dan Tangkuman, F., 1985. *Pengelolaan Air Untuk Pertanaman Kedelai dalam Kedelai*. Balitbang Pertanian dan Puslitbang Tanaman Pangan, Bogor.
- Kessler, J. and De Ridder, N.A., 1980. *Assessing Groundwater Balances dalam Drainage Principles and Applications* Publ. 16 Vol. III. ILRI, Wageningen. h: 195 – 220.
- Murtiningrum dan Arif, S.S., 1997. *Model Operasi Sumur Pompa secara Berkelanjutan*. Makalah dalam Seminar Nasional PERTETA pada tanggal 7 - 8 Juli 1997, Bandung.
- U.S. Bureau of Reclamation, 1978. *Drainage Manual: A Water Resources Technical Publication*. Oxford & IBH Publishing Co. PVT.LTD. New Delhi.
- Van der Meer, K and Van de Graaff, R.H.M., 1980. *Hydropedological Survey. dalam Drainage Principles and Applications* Vol. III ILRI, Wageningen h: 113 – 152.