

## MODEL INFILTRASI DAS Suatu Tinjauan Perbandingan Metodologi

oleh  
Sudibyakto \*

### ABSTRACT

*Infiltration is one of the hydrologic sub models, and it plays an important role in the hydrologic cycle. By knowing the rate and amount of infiltration, the volume of runoff can be calculated.*

*The aims of this paper to provide an insight of catchment infiltration models, especially that of methodology comparison. The models which will be reviewed are simple, empirical ones, and time-dependent infiltration models, namely Horton, Kostiakov, and Philip models.*

*Data on infiltration rate are measured using a Double-Ring infiltrometer. The determination of the best predictive model is by fitting process, which can be done by the use of infiltration curves, using small increments of time.*

*The Horton and Kostiakov models fit well with the experimental data. In this case, Horton model fits better than Kostiakov's. Philip model predicts a too low infiltration rate. All of the models use empirical parameters or constants, therefore, in using these models in the field, the constants should be adjusted to the local condition.*

### INTISARI

Infiltrasi sangat menentukan berlangsungnya proses daur hidrologi suatu DAS. Dengan mengetahui laju dan jumlah infiltrasi, maka volume aliran dalam suatu DAS dapat dihitung.

Makalah ini bertujuan untuk mempelajari model-model infiltrasi DAS, dengan penekanan pada metode pemilihan model terbaik. Model yang diuji bersifat empiris, dan merupakan fungsi dari waktu, meliputi model Horton, Kostiakov, dan Philip.

Data infiltrasi diperoleh berdasarkan pengukuran dengan menggunakan Double-Ring infiltrometer, sedang penentuan model terbaik dilakukan secara grafis dengan menggunakan kurve infiltrasi. Hasil perhitungan tersebut menunjukkan bahwa model Horton dan Kostiakov merupakan model yang terbaik. Model Philip memberikan nilai dugaan infiltrasi yang lebih rendah daripada data percobaan. Berdasarkan hasil percobaan hidrostatika, sebelum suatu model infiltrasi digunakan, maka semua parameter maupun tetapannya perlu disesuaikan dengan kondisi lapangan.

---

\* Drs. Sudibyakto M.S. adalah staf pengajar pada Jurusan Geografi Fisik, Fakultas Geografi UGM, Yogyakarta.

## PENDAHULUAN

### Latar Belakang Masalah

Infiltrasi adalah suatu proses masuknya air, baik air hujan maupun air irigasi, dari permukaan tanah ke dalam tanah. Infiltrasi merupakan salah satu sub model hidrologi DAS (Daerah Aliran Sungai) yang peranannya sangat penting dalam daur hidrologi. Salah satu sasaran pengelolaan DAS ialah memperbesar infiltrasi suatu tanah, agar lebih hujan yang menjadi limpasan permukaan menjadi kecil yang pada akhirnya dapat memperkecil erosi dan sedimentasi DAS. Karena itu studi tentang pemodelan infiltrasi dipandang penting dalam kajian hidrologi suatu DAS.

Infiltrasi dapat dinyatakan dalam dua dimensi, yaitu laju infiltrasi (infiltration rate) dan kapasitas infiltrasi (infiltration capacity). Laju infiltrasi suatu tanah adalah volume air yang masuk ke dalam tanah per satuan waktu per satuan luas, namun pada umumnya laju infiltrasi cukup dinyatakan dalam satuan mm per jam atau cm per menit. Kapasitas infiltrasi suatu tanah adalah laju maksimum dari tanah untuk mengabsorpsi air pada keadaan tertentu (Dhalhar, 1972; Garg, 1977; Haan, Johnson, and Brakensiek, 1982).

Penentuan model infiltrasi yang sesuai untuk suatu daerah perlu diketahui, sebelum analisis lainnya dilakukan. Dua pendekatan pemodelan infiltrasi yang dikenal saat ini ialah model empiris dan model analitik. Model analitik sukar dalam penyelesaiannya, sehingga banyak yang menggunakan model empiris. Pada model empiris ada dua pendekatan yang berbeda, yaitu pendekatan fungsi dari waktu dan pendekatan fungsi dari kelembaban tanah.

### Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini ialah menurunkan suatu model infiltrasi dari tiga model yang dicoba yaitu model Horton, Kostiakov, dan Philip yang merupakan model infiltrasi fungsi dari waktu dan dikemukakan pula suatu cara untuk menentukan model yang terbaik.

## METODOLOGI

### Pengukuran Infiltrasi

Data infiltrasi diperoleh dari pengukuran laju infiltrasi dengan menggunakan "Double-Ring Infiltrometer" yang dilakukan di Sub DAS Sayang, DAS Konto Hulu, Jawa Timur berdasarkan penelitian Sudibyaktio tahun 1989. Pengukuran dilakukan pada berbagai bentuk tataguna lahan, namun dalam makalah ini hanya disajikan salah satu contoh, yaitu pada lahan tegalan.

Pengukuran infiltrasi menggunakan double ring infiltrometer merupakan cara yang sederhana dan paling banyak digunakan untuk mengukur laju infiltrasi tanah (Brechtel, 1976). Infiltrometer terbuat dari plat besi dengan ukuran diameter sebelah luar adalah dua kali diameter ring dalam. Pengukuran infiltrasi yang dilakukan di daerah yang sukar dijangkau dianjurkan untuk menggunakan ring yang berukuran 18 cm (ring dalam) dan 36 cm (ring luar), sehingga karena kecilnya, alat ini mudah dibawa. Perlengkapan lainnya antara lain ember, stopwatch, penggaris, buku catatan, alat tulis, dan pemukul dari kayu. Prinsip pengukuran dengan "double-ring infiltrometer" ialah mengukur banyaknya air yang diberikan ke dalam ring selama waktu tertentu. Pengukuran penurunan air pada ring dilakukan pada sisi dalam. Beberapa peneliti memberikan pedoman

berbeda-beda dalam hal pemasangan dan pengamatan alat ini. Brechtel (1976) memberi pedoman bahwa alat ini ditanam kedalam tanah sekitar 5 cm, dan pemberian air sedalam 4 cm dari permukaan tanah.

### Pendekatan Model Infiltrasi

Menurut Dhalhar (1972) terdapat dua pendekatan model infiltrasi, yaitu pendekatan analitik dan pendekatan empirik. Pendekatan analitik digunakan untuk mengetahui gerakan air dalam tanah pada kondisi lapangan, namun cara ini sukar dalam penyelesaian perhitungannya sehingga lebih banyak peneliti yang menggunakan pendekatan empiris.

Pendekatan secara empiris dapat dibedakan menjadi dua, yaitu model infiltrasi yang merupakan fungsi dari waktu (time-dependent equations) dan bukan merupakan fungsi waktu (Non time dependent equations).

#### a. "Time-dependent equations"

Termasuk dalam pendekatan ini diantaranya ialah model Horton, model Kostiakov, dan model Philip. Ketiga model ini merupakan fungsi dari waktu

#### b. "Non-time dependent equations"

Yang termasuk dalam pendekatan ini diantaranya ialah model Green dan Amp, model Holtan, dan model Holtan yang telah dimodifikasi oleh Huggins dan Monkey. Semua model tersebut merupakan fungsi dari perubahan kelembaban tanah.

### Proses "Fitting" Model Infiltrasi

Pendekatan model infiltrasi yang dilakukan bersifat empirik dan model yang diuji merupakan fungsi dari waktu. Perbandingan ketiga model infiltrasi dilakukan untuk mengetahui model yang terbaik. Adapun kriteria yang digunakan untuk menentukan model yang terbaik menggunakan rumus (Fleming, 1975):

$$\text{Kriteria Ketelitian} = (f_{\text{ukur}} - f_{\text{duga}})^2 \text{ minimum}$$

adapun,  $f_{\text{ukur}}$  = laju infiltrasi pengukuran  
 $f_{\text{duga}}$  = laju infiltrasi dugaan

Sebelum suatu model dapat digunakan, maka model tersebut haruslah di "fitting" terlebih dahulu. Proses "fitting" terhadap ketiga model yang diuji dijelaskan pada uraian berikut:

#### 1. "Fitting" model infiltrasi dari Horton

Persamaan Horton: (Dhalhar, 1972)

$$f_t = f_c + (f_0 - f_c) e^{-Kt} \quad (1)$$

adapun :  $f_t$  = laju infiltrasi (cm/menit)  
 $f_0$  = laju infiltrasi awal (cm/menit)  
 $f_c$  = laju infiltrasi konstan

$K$  = parameter tanah (1/menit)  
 $t$  = waktu (menit)

Nilai  $f_c$  diestimasi dari hasil penggambaran (plotting) hubungan antara laju infiltrasi dan waktu (sebagai absis). Setelah  $f_c$  ditetapkan, maka dapat dihitung nilai-nilai  $K$  dan  $f_0$ .

Nilai-nilai  $K$  dan  $f_0$  dihitung dengan menggunakan metode dua titik. Kombinasi dua titik ini ialah antara  $t_1-t_2$ ;  $t_2-t_3$ ; ...;  $t_n-t_{n+1}$ .

Dari persamaan (1) dapat dihitung nilai  $K$  dan  $f_0$  dengan rumus:

$$K = 1/(t_2-t_1) \ln[(f_1-f_c)/(f_2-f_c)] \quad (2)$$

dan

$$f_0 = f_c + [(f_1-f_c)/(e^{-Kt})] \quad (3)$$

Rumus (2) dan (3) digunakan untuk menghitung nilai-nilai  $K$  dan  $f_0$  dari kombinasi titik-titik 1 dan 2, sehingga untuk titik-titik selanjutnya dapat dilakukan dengan cara yang sama. Setelah nilai-nilai  $K$  dan  $f_0$  semuanya terhitung, maka dapat dihitung pula laju infiltrasi untuk berbagai waktu yang berbeda-beda. Hasil perhitungan antara  $f_{ukur}$  dan  $f_{duga}$  digambarkan pada suatu grafik hubungan antara waktu dan laju infiltrasi (Lampiran 1).

## 2. "Fitting" persamaan infiltrasi dari Kostiaikov

Bentuk persamaan: (Dhalhar, 1972)

$$f = K t^n \quad (4)$$

adapun  $f$  = laju infiltrasi (cm/menit)

$t$  = waktu (menit)

$K, n$  = tetapan

Infiltrasi kumulatifnya merupakan bentuk integral dari persamaan (4) yaitu sebagai berikut: (Dhalhar, 1972)

$$F = K t^n dt = K/(n+1) \cdot t^{(n+1)} \quad (5)$$

adapun  $F$  = infiltrasi kumulatif (cm)

Dengan menggunakan data infiltrasi kumulatif hasil pengukuran infiltrometer selama periode waktu tertentu, maka semua tetapan pada persamaan (5) dapat dihitung, sehingga laju infiltrasinya dapat ditetapkan.

Adapun proses "fitting" persamaan Kostiaikov dilakukan dengan cara sebagai berikut: Bentuk logaritma persamaan (5) dapat ditulis:

$$\text{Log } F = \log [K/(n+1)] + (n+1) \log t \quad (6)$$

Persamaan (6) ini bila digambar pada kertas logaritma ganda berupa garis lurus. Dari persamaan (6) dapat diketahui bahwa:

$(n + 1)$  adalah kemiringan (slope) dan  $K/(n + 1)$  adalah nilai  $F$  untuk  $t$  sama dengan 1 yang merupakan intersep, sehingga  $K$  dapat dihitung.

Hasil perhitungan regresi dari komputer dengan menggunakan program QUATTRO menunjukkan bahwa:

$$(n + 1) = \text{koefisien } x$$

$$K/(n + 1) = 10^{\text{tetapan}}$$

Bentuk persamaan linier dari persamaan (6) adalah  $y = a + bx$ . Hasil pendugaan nilai-nilai  $f_{ukur}$  dan  $f_{duga}$  selanjutnya diplot dengan nilai  $t$  sebagai absisnya (Lampiran 2).

### 3. "Fitting" persamaan infiltrasi dari Philip

Bentuk persamaan: (Dhalhar, 1972)

$$f_p = K t^{-0.5} + C \quad (7)$$

integral dari persamaan (7) diperoleh:

$$F = (K t^{-0.5} + C) dt \quad (8)$$

atau

$$F = C t + 2 K t^{0.5} \quad (9)$$

adapun:

$F$  = infiltrasi kumulatif (cm)

$f_p$  = laju infiltrasi (cm/menit)

$t$  = waktu (menit)

$C, K$  = tetapan

Proses "fitting" untuk persamaan Philip menggunakan dua data infiltrasi kumulatif (misalnya  $F_2$  dan  $F_{10}$ ) dan waktu yang sesuai dengan data  $F$  tersebut (misalnya  $t_2$  dan  $t_{10}$ ). Maka persamaan (9) dapat ditulis sebagai berikut:

$$F_2 - C t_2 = 2 K t_{20.5} \quad (9a)$$

$$F_{10} - C t_{10} = 2 K t_{100.5} \quad (9b)$$

Bilamana persamaan (9a) dikalikan dengan  $t_{10}$  dan persamaan (9b) dikalikan dengan  $t_2$ , maka:

$$F_2 t_{10} - C t_2 t_{10} = 2 K t_{20.5 t_{10}} \quad (9c)$$

$$F_1 t_2 - C t_1 t_2 = 2 K t_{100.5 t_2} \quad (9d)$$

$$\text{-----} \quad (-)$$

$$F_2 t_{10} - F_1 t_2 = 2 K (t_{20.5 t_{10}} - t_{100.5 t_2})$$

sehingga:

$$K = (F_2 t_{10} - F_1 t_2) / 2(t_{20.5 t_{10}} - t_{100.5 t_2}) \quad (10)$$

Nilai C dapat dihitung dari persamaan (9c) atau (9d), sehingga diperoleh:

$$C = (F_2 - 2 K t_{20.5}) / t_2 \quad (11)$$

Setelah nilai K dan c dihitung, maka dapat dihitung pula laju infiltrasi ( $f_p$ ) untuk berbagai kombinasi waktu (Lampiran 3).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Penentuan Model Terbaik

Laju infiltrasi untuk setiap model yang dicoba dilakukan secara grafis seperti ditunjukkan pada lampiran 1 hingga 3. Pada Lampiran 1 (Metode Horton) nilai  $f_c$  ditetapkan sebesar 0,5, sedangkan nilai-nilai K dan  $f_0$  dihitung dengan persamaan (2) dan (3) sehingga didapat nilai laju infiltrasi untuk berbagai waktu. Dalam kasus ini ditetapkan waktu untuk menit yang ke 1, 19, 39, 59, 109, dan 159. Pada proses fitting ditentukan sebanyak 5 persamaan untuk selanjutnya digambarkan pada satu grafik. Penggambaran seperti ini dilakukan untuk dibandingkan dengan data pengukuran. Penentuan model terbaik dilakukan dengan cara yang telah dijelaskan di muka dan hasil perhitungannya ditunjukkan pada Lampiran 4. Hasil perhitungan selanjutnya menunjukkan bahwa model terbaik dari cara Horton mempunyai persamaan:

$$f_t = 0,5 + (1,431 - 0,5) e^{-0,033 t}$$

atau

$$f_t = 0,5 + 0,931 e^{-0,033 t} \text{ cm/menit}$$

Pada Lampiran 2 (metode Kostiakov) hasil perhitungannya hanya memberikan satu persamaan, sehingga tidak dilakukan penentuan model terbaik. Modelnya adalah  $f = 1,254 t^{-0,146}$  cm/menit.

Pada lampiran 3 (metode Philip) nilai-nilai K dan c ditetapkan dengan cara memilih kombinasi waktu pengamatan, misal pengamatan ke 2 dan ke 8 atau ditulis  $t_2-8$ ,  $t_3-10$  dan seterusnya. Penentuan titik kombinasi ini diusahakan agar tidak menggunakan data awal atau data akhir, hal ini dapat dimengerti bahwa data pinggir seperti itu biasanya terdapat penyimpangan yang cukup besar. Penentuan model terbaik juga dilakukan dengan cara yang sama dengan cara Horton. Hasil perhitungan untuk ketetapan model disajikan pada Lampiran 5 yang menunjukkan model terbaik dengan persamaan:

$$f_p = 1,053 t^{-0,5} + 0,512 \text{ cm/menit}$$

## Evaluasi Model Infiltrasi

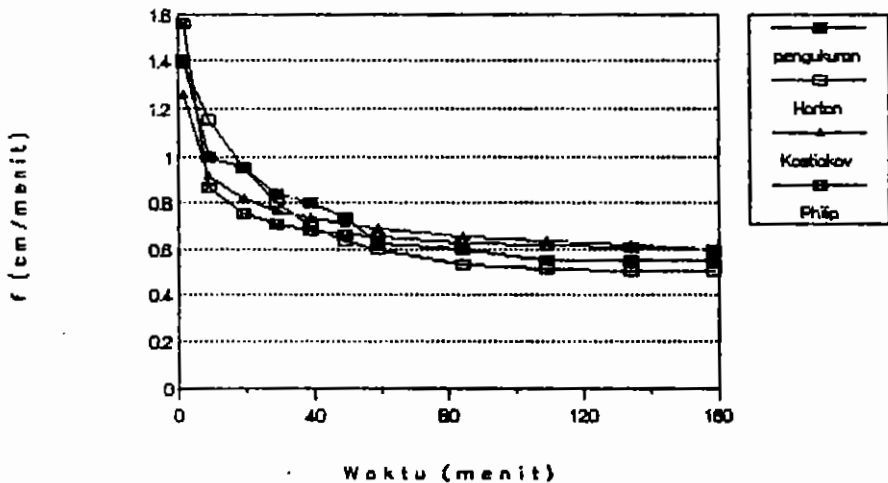
Setelah meneliti dan memilih satu model terbaik dari ketiga model infiltrasi yang dicoba, dapatlah sekarang dibandingkan mana diantara ketiga model tersebut yang terbaik untuk suatu tempat. Suatu model dikatakan baik bila penyimpangan terhadap hasil pengukuran adalah minimum. Untuk melihat lebih jelas perbandingan dari tiga model yang dicoba disajikan pada Tabel 1 berikut:

TABEL 1. PERBANDINGAN MODEL INFILTRASI

Waktu kumulatif t (menit)	Laju infiltrasi terukur (cm/mn)	Horton	Kostiakov	Philip
1	1,40	1,399	1,254	1,565
9	1,00	1,158	0,910	0,863
19	0,95	0,948	0,816	0,754
29	0,84	0,802	0,767	0,708
39	0,80	0,704	0,735	0,681
49	0,74	0,638	0,710	0,662
59	0,63	0,549	0,691	0,649
84	0,60	0,535	0,657	0,627
109	0,55	0,513	0,632	0,613
134	0,55	0,505	0,613	0,603
159	0,55	0,502	0,598	0,596

Sumber : Sudibyakto, 1989.

Penyajian lain dari Tabel 1 di atas berupa grafik seperti disajikan pada Gambar 1.



Selanjutnya untuk menentukan model terbaiknya dilakukan dengan menghitung jumlah kuadrat nilai sisa yang disajikan pada Lampiran 6. Hasilnya menunjukkan bahwa model Horton mempunyai nilai simpangan terkecil sebesar 0,057. Sedangkan model Kostiakov mempunyai nilai simpangan sebesar 0,078, nilai ini masih lebih baik daripada nilai simpangan metode Philip sebesar 0,132.

## KESIMPULAN

1. Pendugaan laju infiltrasi dengan pendekatan time dependent model atas tiga model yang dicoba mempunyai pola laju infiltrasi yang hampir sama.
2. Model Horton merupakan model terbaik dibandingkan dengan model Kostiakov maupun Philip, dalam hal ini model Philip memberikan nilai dugaan yang lebih rendah terhadap data pengukuran.
3. Sebelum menggunakan suatu model infiltrasi, maka semua tetapan harus di-fit-kan terlebih dahulu terhadap data lapangan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Brechtel, H.M., 1976. Application of An Inexpensive Double-Ring Infiltrometer, pp. 99-102. In Kunkle, S.H. and J.L. Thames. *Hydrological Techniques for Upstream Conservation*. Rome: FAO of the United Nations.
- Dhalhar, M.A., 1972. *Process and Field Evaluation of Infiltration Rate*. A "Plan B" Paper for the M.Sc. Degree. The University of Minnesota.
- Fleming, G., 1975. *Computer Simulation Techniques in Hydrology*. New York: Elsevier.
- Garg, S.K., 1977. *Water Resources and Hydrology*. New Delhi: Khana Publisher.
- Haan, C.T., H.P. Johnson and D.L. Brakensiek (ed.), 1982. Hydrologic Modelling of Small Watersheds. An *ASEA Monograph* No. 5, Michigan.
- Mather, J.R., 1984. *Water Resources: Distribution, Use, and Management*. New York: John Wiley & Sons.
- Sudibyakto, 1989. *Pengujian Beberapa Model Infiltrasi (Fitting Process) Untuk Pendugaan Limpasan Permukaan di Sub DAS Sayang, DAS Konto Hulu, Jawa Timur*. Laporan Penelitian DPP/SPP Tahun 1989/1990, Fakultas Geografi UGM, Yogyakarta.
- Wilson, E.M., 1974. *Engineering Hydrology*. 2<sup>nd</sup> Edition. London: Macmillan.

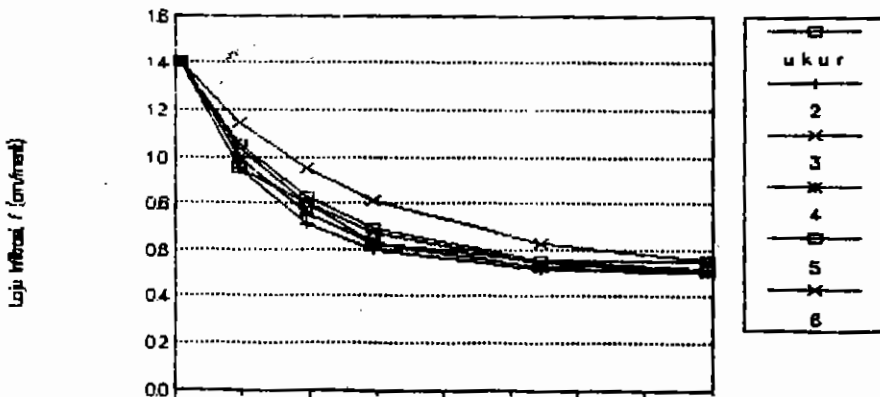


**LAMPIRAN 1. UJI INFILTRASI (FITING PROCESS METODE HORTON.  
Menghitung Nilai K dan t<sub>0</sub> serta Laju Infiltrasi untuk berbagai Waktu**

No.	t (mn)	f (cm/mn)	f <sub>0</sub> (1/mn)	f <sub>0</sub> (cm/mn)	f <sub>t</sub>					
					1	19	39	59	109	159
1	1.00	1.40	0.073	1.469	1.400	0.740	0.555	0.513	0.500	0.500
2	9.00	1.00	0.039	1.435	1.400	0.950	0.708	0.596	0.514	0.502
3	19.00	0.95	0.035	1.432	1.400	0.981	0.740	0.620	0.521	0.504
4	29.00	0.84	0.029	1.426	1.400	1.035	0.800	0.668	0.540	0.509
5	39.00	0.80	0.028	1.425	1.400	1.048	0.816	0.682	0.546	0.512
6	49.00	0.74	0.033	1.431	1.400	0.994	0.753	0.630	0.525	0.505
7	59.00	0.63	0.026	1.424	1.400	1.059	0.829	0.694	0.552	0.514
8	84.00	0.60	0.027	1.424	1.400	1.056	0.826	0.691	0.550	0.513
9	109.00	0.55	0.022	1.420	1.400	1.109	0.894	0.755	0.506	0.529
10	134.00	0.55	0.018	1.417	1.400	1.148	0.949	0.812	0.625	0.550
11	159.00	0.55								

Catatan : f<sub>c</sub> = 0.5

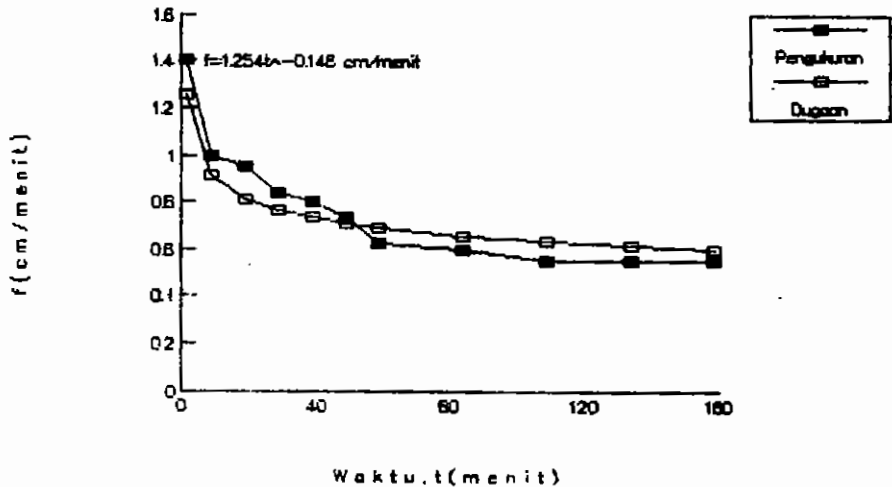
t	t f - hit (mn)	f - dugaan (cm/mn)												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
1	1.40	1.400	1.400	1.400	1.400	1.400	1.400	1.400	1.400	1.400	1.400	1.400	1.400	1.400
19	0.95	0.740	0.950	0.981	0.035	1.048	0.994	1.059	1.056	1.109	1.148			
39	0.80	0.555	0.708	0.740	0.800	0.816	0.753	0.829	0.826	0.894	0.949			
59	0.63	0.513	0.596	0.620	0.668	0.682	0.630	0.694	0.691	0.755	0.812			
109	0.55	0.500	0.514	0.521	0.540	0.546	0.525	0.552	0.550	0.586	0.625			
159	0.55	0.500	0.502	0.504	0.509	0.512	0.505	0.514	0.513	0.529	0.550			
			1	2	3	4	5							



## LAMPIRAN 2. UJI INFILTRASI (FITTING PROCESS) METODE KOSTIAKOV

No.	t (mn)	f (cm/mn)	F (cm)	log t	Log F	f <sub>duga</sub> (cm/mn)
1	1	1.40	1.40	0.000	0.146	1.254
2	9	1.00	9.40	0.954	0.973	0.909
3	19	0.95	18.90	1.279	1.276	0.815
4	29	0.84	27.30	1.462	1.436	0.766
5	39	0.80	35.30	1.591	1.548	0.734
6	49	0.74	42.70	1.690	1.630	0.709
7	59	0.63	49.00	1.771	1.690	0.690
8	84	0.60	64.00	1.924	1.806	0.656
9	109	0.55	77.75	2.037	1.891	0.631
10	134	0.55	91.50	2.127	1.961	0.612
11	159	0.55	105.25	2.101	2.022	0.597

Catatan :  $n + 1 = 0.854$      $n = - 0.146$   
 $K(n + 1) = 1.460$      $K = 1.254$



## LAMPIRAN 3. UJI INFILTRASI (FITTING PROCESS) METODE PHILIP

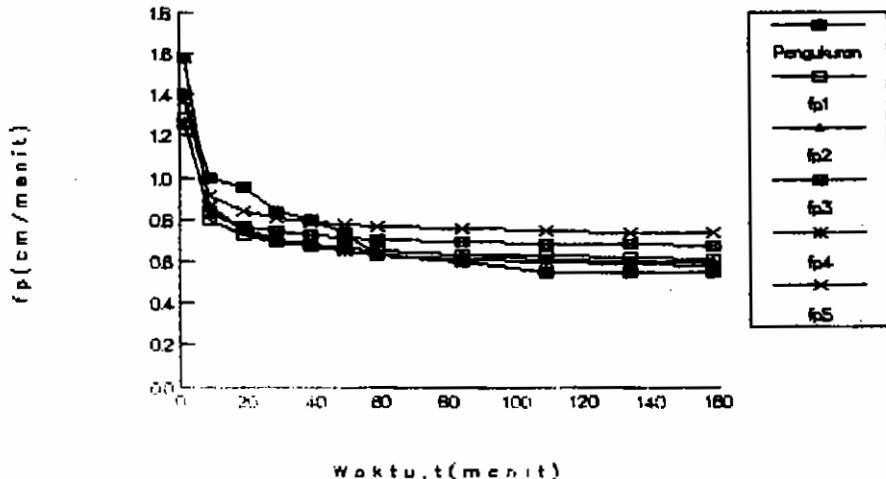
No.	t (mn)	f (cm/mn)	F (cm)	fp1 (cm/mn)	fp2 (cm/mn)	fp3 (cm/mn)	fp4 (cm/mn)	fp5 (cm/mn)
1	1	1.40	1.40	1.288	1.565	1.254	1.584	1.372
2	9	1.00	9.40	0.800	0.863	0.834	0.857	0.907
3	19	0.95	18.90	0.724	0.754	0.769	0.744	0.835
4	29	0.84	27.30	0.692	0.708	0.741	0.696	0.804
5	39	0.80	35.30	0.673	0.681	0.725	0.669	0.787
6	49	0.74	42.70	0.661	0.662	0.714	0.650	0.775
7	59	0.63	49.00	0.651	0.649	0.706	0.636	0.766
8	84	0.60	64.00	0.636	0.627	0.693	0.613	0.751
9	109	0.55	77.75	0.626	0.613	0.684	0.598	0.742
10	134	0.55	91.50	0.619	0.603	0.678	0.588	0.735
11	159	0.55	105.25	0.614	0.596	0.674	0.580	0.730

Catatan: k = 0.697      c = 0.675

t	k	c
12 - 10	0.732	0.556
13 - 9	1.053	0.512
12 - 8	0.630	0.624
13 - 10	1.090	0.494
12 - 9	0.697	0.675



$$\begin{aligned}
 fp1 &= 0,732 t^{-0,5} + 0,556 \\
 fp2 &= 1,053 t^{-0,5} + 0,512 \text{ terpilih} \\
 fp3 &= 0,830 t^{-0,5} - 0,624 \\
 fp4 &= 1,090 t^{-0,5} + 0,494 \\
 fp5 &= 0,697 t^{-0,5} + 0,675
 \end{aligned}$$



## LAMPIRAN 4. PERHITUNGAN UNTUK KETEPATAN MODEL METODE HORTON

fp1	fp2	fp3	fp4	fp5	f	(f-fp1) <sup>2</sup>	(f-fp2) <sup>2</sup>	(f-fp3) <sup>2</sup>	(f-fp4) <sup>2</sup>	(f-fp5) <sup>2</sup>
1,400	1,400	1,400	1,40	1,400	1,40	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,950	1,035	0,994	1,056	1,148	0,95	0,000	0,007	0,002	0,011	0,039
0,708	0,800	0,753	0,826	0,949	0,80	0,008	0,000	0,002	0,001	0,022
0,596	0,668	0,630	0,691	0,812	0,63	0,001	0,001	0,002	0,004	0,033
0,514	0,540	0,525	0,550	0,625	0,55	0,001	0,000	0,001	0,000	0,006
0,502	0,509	0,505	0,513	0,550	0,55	0,002	0,002	0,002	0,001	0,000
Jumlah :						0,013	0,010	0,007	0,017	0,100

## LAMPIRAN 5. PERHITUNGAN UNTUK KETEPATAN MODEL METODE PHILIP

fp1	fp2	fp3	fp4	fp5	f	(f-fp1) <sup>2</sup>	(f-fp2) <sup>2</sup>	(f-fp3) <sup>2</sup>	(f-fp4) <sup>2</sup>	(f-fp5) <sup>2</sup>
1.288	1.565	1.254	1.584	1.372	1.40	0.013	0.027	0.021	0.034	0.001
0.800	0.863	0.834	0.857	0.907	1.00	0.040	0.019	0.028	0.020	0.009
0.724	0.754	0.769	0.744	0.835	0.95	0.051	0.039	0.033	0.042	0.013
0.692	0.708	0.741	0.696	0.804	0.84	0.022	0.018	0.010	0.021	0.001
0.673	0.681	0.725	0.669	0.787	0.80	0.016	0.014	0.006	0.17	0.000
0.661	0.662	0.714	0.650	0.775	0.74	0.006	0.006	0.001	0.008	0.001
0.651	0.649	0.706	0.636	0.766	0.63	0.000	0.000	0.006	0.000	0.018
0.636	0.627	0.693	0.613	0.751	0.60	0.001	0.001	0.009	0.000	0.023
0.626	0.613	0.684	0.598	0.742	0.55	0.006	0.004	0.018	0.002	0.037
0.619	0.603	0.678	0.588	0.735	0.55	0.005	0.003	0.016	0.001	0.034
0.614	0.596	0.674	0.580	0.730	0.55	0.004	0.002	0.015	0.001	0.032
Jumlah :						0.164	0.132	0.162	0.148	0.170

## LAMPIRAN 6. PERHITUNGAN UNTUK KETEPATAN MODEL, METODE HORTON, KOSTIAKOV DAN PHILIP

Horton FH	Kostiakov FK	Philip FP	f	(f-FH) <sup>2</sup>	(f-FK) <sup>2</sup>	(f-FP) <sup>2</sup>
1.399	1.254	1.565	1.40	0.000	0.021	0.027
1.158	0.910	0.863	1.00	0.025	0.008	0.019
0.946	0.816	0.754	0.95	0.000	0.018	0.039
0.802	0.767	0.708	0.84	0.001	0.005	0.018
0.704	0.735	0.681	0.80	0.009	0.004	0.014
0.638	0.710	0.662	0.74	0.010	0.001	0.006
0.594	0.691	0.659	0.63	0.001	0.004	0.000
0.535	0.657	0.627	0.60	0.004	0.003	0.001
0.513	0.632	0.613	0.55	0.001	0.007	0.004
0.505	0.613	0.603	0.55	0.002	0.004	0.003
0.502	0.598	0.596	0.55	0.002	0.002	0.002
Jumlah :				0.57	0.078	0.132