

MAKALAH
SEMINAR, LOKAKARYA DAN BAZAR PENELITIAN – UPI
22 - 23 JANUARI 2008



**PENGEMBANGAN FORMULA INFILTRASI EMPIRIK BERDASARKAN
SIFAT FISIK DAN HIDRAULIK KOLOM TANAH UNTUK BEBERAPA
MACAM PENGGUNAAN LAHAN
DI DAS BAGIAN HULU**

Penulis :

Dr. Ir. Dede Rohmat, M.T., dkk.

**UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA
NOPMEBER, 2007**

**Hubungan Empiris
antara Ketebalan Hujan dengan Infiltrasi Kumulatif
pada Beberapa Macam Penggunaan Lahan
di Daerah Aliran Sungai Bagian Hulu¹**

Oleh :

Dede Rohmat

Jurusan Pendidikan Geografi, Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung

Indratmo Soekarno

Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Bandung

Darsiharjo

Jurusan Pendidikan Geografi, Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung

SINOPSIS

Metode infiltrasi dengan pendekatan empirik dikembangkan dan digunakan untuk menduga infiltrasi kumulatif dan laju infiltrasi pada beberapa macam penggunaan lahan di kawasan hulu – Daerah Aliran Sungai (DAS). Penelitian menggunakan pendekatan empirik-analitik. Kajian mencakup pengembangan persamaan infiltrasi kumulatif empirik sebagai fungsi dari ketebalan hujan empirik, atau $F(t)=f(R(t))$ pada beberapa macam penggunaan lahan (hutan; agroforestri; palawija; permukiman; dan lahan tidak digarap). Formulasi hubungan antara infiltrasi kumulatif dengan ketebalan hujan, merupakan hubungan yang bersifat *Black Box*. Pola intensitas hujan diformulasikan sebagai fungsi dari lama hujan dan probabilitas hujan $I=f(t,p)$. Infiltrasi, baik kumulatif maupun lajunya pada setiap macam tutupan lahan mempunyai pola yang hampir sama, namun berbeda dalam kuantitasnya.

Kata kunci : Infiltrasi, Infiltrasi Kumulatif, Infiltrasi Empirik, Pola Hujan, Penggunaan Lahan, Kawasan Hulu

ABSTRACT

The Method of infiltration with empirical approach developed and used to predict the infiltration rate and cumulative infiltration on some kinds of landuse at upstream area of drainage basin. Research use analytic empiric approach. Study include; development equation of empirical cumulative infiltration as function from thickly of empirical rainfall, or $F(t)=F(R(t))$ on some kinds of landuse (forest; agroforestry; *palawija* or second crops; settlement; and non arable land). Formulation of relation between cumulative infiltration with thickly rainfall, representing relation having the character of Black Box. Pattern of rainfall intensity formulated as function of rainfall duration and probability or $I=F(t,p)$. Infiltration, cumulative and also its rate on each kinds of land covering have pattern which much the same, but differ in its quantity.

Key Words : Infiltration, Cumulative Infiltration, Emprirical Infiltration, Rainfall Pattern, Landuse, Upstream Area.

¹ Disajikan pada Seminar, Lokakarya dan Bazar Penelitian UPI, “ Peningkatan Mutu Pendidikan Berbasis Riset, Auditorium JICA FPMIPA, 22 – 23 Januari 2008

PENDAHULUAN

Jika evapotranspirasi selama kejadian hujan diasumsikan sama dengan nol; intersepsi dan *storage* diasumsikan mempunyai batas optimum yang akan dicapai oleh besar hujan tertentu, maka aliran permukaan merupakan fungsi dari infiltrasi. Infiltrasi sangat bergantung atas hujan, penggunaan lahan, sifat fisik dan hidraulik kolom tanah, kondisi permukaan tanah (Rohmat, 2004).

Diketahui secara umum bahwa penggunaan lahan dengan berbagai variasinya, berpengaruh terhadap infiltrasi. Besar kecilnya efek penggunaan lahan terhadap infiltrasi sangat ditentukan oleh karakteristik penggunaan lahan itu sendiri. Suatu macam penggunaan lahan berperan memperbesar infiltrasi, tetapi macam penggunaan lahan lain mungkin menghambatnya.

Hubungan antara infiltrasi dengan faktor yang mempengaruhinya telah diformulasikan oleh para ahli terdahulu, seperti Green-Ampt (1911); Horton (1933, 1939); dan Philip (1957, 1969). Namun metode-metode ini seluruhnya bersifat analitik dan dikembangkan di laboratorium, serta memerlukan perangkat software untuk menyelesaikannya (Rohmat, 2005)

Pengukuran infiltrasi, baik laju maupun kumulatifnya di lapangan, umumnya dilakukan dengan menggunakan alat infiltrometer. Pengukuran dengan metoda ini memberikan angka yang 3 kali lebih besar dari angka infiltrasi sebenarnya (Rankl, 1990), sehingga kurang baik digunakan untuk masukan dalam perhitungan keseimbangan air untuk memprediksi limpasan hujan.

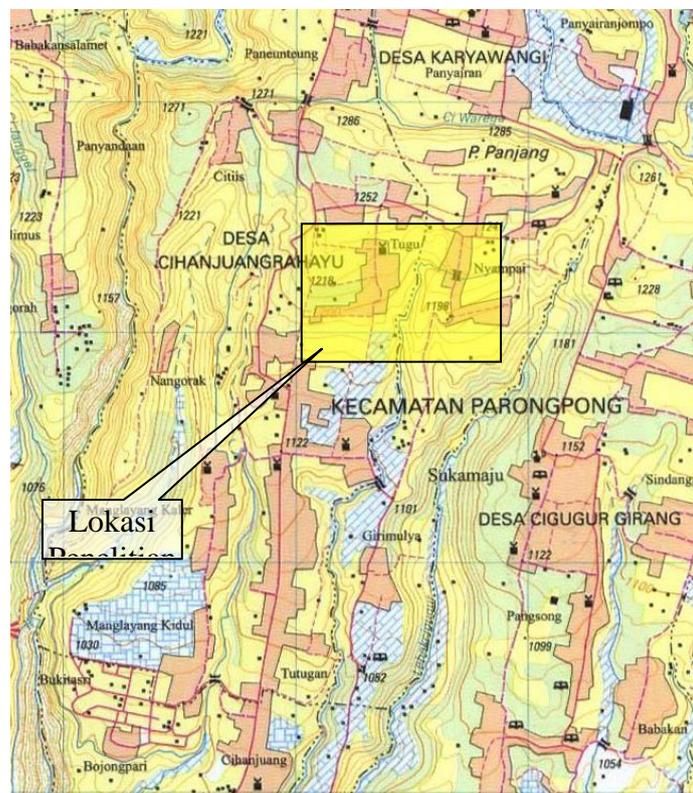
Oleh karena itu, diperlukan pendekatan baru untuk pendugaan infiltrasi yang memberikan hasil lebih baik, akuat dan aplikatif. Serangkaian penelitian telah dilakukan untuk menunjang formulasi pendekatan baru tersebut. Salah satunya adalah penelitian guna merumuskan hubungan antara infiltrasi kumulatif sebagai fungsi dari ketebalan hujan (*Black Box Model*) pada beberapa macam penggunaan lahan di kawasan hulu - DAS. Penelitian tersebut dan hasil-hasilnya dikemukakan dalam tulisan ini.

Tujuan penelitian ini adalah mengembangkan metode pendugaan infiltrasi berdasarkan data empirik infiltrasi kumulatif dan pola hujan, untuk menduga infiltrasi kumulatif dan laju infiltrasi pada beberapa macam penggunaan lahan di kawasan hulu – DAS.

Penelitian ini merupakan terobosan untuk mengatasi keterbatasan data infiltrasi pada berbagai macam penggunaan lahan, sebagai bahan masukan dalam upaya pengelolaan sumberdaya air, lahan, tanah, dan vegetasi (hutan).

KARAKTERISTIK FISIK WILAYAH PENELITIAN

Penelitian dilakukan di Desa Karyawangi Kecamatan Parongpong, tepatnya di daerah hulu sungai Lebak Cigugur. Daerah ini terletak pada ketinggian 1100 – 1200 m di atas muka laut (dml), mempunyai lereng curam, tanah didominasi oleh tekstur Sandy (Berpasir). Lebih jelas mengenai lokasi penelitian disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1 Lokasi penelitian Desa Karyawangi Kecamatan Parongpong

Lima macam penggunaan lahan ditemukan di daerah penelitian antara lain palawija (second crops); agroforestri (agroforestry); semak belukar, hutan (*forest*); dan permukiman (*settlement*). *Palawija* merupakan budidaya lahan kering dengan dominasi tanaman semusim; sedang tanaman tahunan difungsikan sebagai tanaman pelindung atau tanaman batas lahan. *Agroforestry*, terdiri atas hutan rakyat dan sistem tumpang sari. Sistem hutan rakyat, adalah sistem pemanfaatan lahan dengan tanaman tahunan (100 %). Semak belukar ditumbuhi tanaman dominan berupa alang-alang dengan penutupan lahan

100 %. *Hutan (Kayu Campuran)*, merupakan lahan yang didominasi tanaman tahunan dari jenis kayu-kayuan dan difungsikan sebagai hutan lindung. Di bawah tegakan tumbuh tanaman perdu, semak, dan rumput liar. Dengan demikian, lahan tertutup rapat oleh tajuk tanaman (100 %). Permukiman di *Cekungan Kecil* merupakan permukiman khas upland; berteras, terdapat (tampung) storage di permukaan lahan, tidak mempunyai saluran drainase khusus, dan mempunyai halaman bermain dan budidaya tanaman pekarangan. Penutupan lahan di areal permukiman sekitar 30 – 40 %.

PROSEDUR PENGUMPULAN DATA

Penelitian menggunakan metode observasi lapangan, dengan pendekatan empirik-analitik. Pengamatan lapangan dilakukan dalam kurun waktu 4 bulan, mulai bulan April 2007 hingga Juli 2007. Selama kurun waktu penelitian, diambil data hujan dan data infiltrasi kumulatif. Perekaman data hujan dilakukan secara manual, dengan variable pengukuran durasi hujan, ketebalan hujan, dan intensitas hujan.

Sampel tanah diambil dari 10 titik pengamatan, representatif pada setiap *penggunaan lahan (masing-masing 2 titik)*. Sampel tanah yang diambil adalah sampel tanah terganggu (*disturbed soil samples*) untuk menganalisis infiltrasi kumulatif akibat suatu kejadian hujan. Infiltrasi kumulatif, diukur dari perbedaan kelembaban sampel tanah atau *volumetric water content* (Koorevar, 1983), yang diambil sebelum dan sesudah hujan. Pengambilan sampel tanah dilakukan pada interval kedalaman 20 cm, mulai permukaan tanah hingga kedalaman 120 cm. Kelembaban diukur melalui pengovenan pada suhu 105 °C selama 10 jam.

HASIL DAN DISKUSI

Terdapat tiga variabel hujan yang dianalisis, yaitu durasi hujan (t); ketebalan hujan ($R(t)$); dan intensitas hujan (I).

Analisis Regresi Linier Berganda *metode Backward* digunakan untuk mencari hubungan fungsional antara infiltrasi kumulatif ($F(t)$) dengan variabel hujan pada masing-masing titik sampel pengamatan. Analisis tersebut dibangun dengan asumsi :

- (i) *Normalitas*, bahwa setiap nilai-nilai Y untuk setiap X tertentu didistribusikan secara normal di sekitar *mean*-nya. Asumsi ini menunjukkan bahwa distribusi dari *error sampling* adalah normal;

(ii) *Homoskedastisitas*, yaitu variasi nilai-nilai Y di sekitar nilai *meannya* adalah konstan untuk setiap nilai X; dan

(iii) *Linieritas*, yaitu hubungan antara variabel terikat dengan variable bebas adalah linier.

Guna memenuhi asumsi tersebut, dilakukan transformasi *semilog*, yaitu transformasi logaritma bilangan dasar 10 terhadap variabel Y (infiltrasi kumulatif ditambah satu), sehingga menjadi $\log (F(t)+1)$. Angka satu ditambahkan pada nilai F(t) guna mengantisipasi jika ada nilai $F(t) = 0$.

Berdasarkan hasil analisis regresi linier berganda, diperoleh suatu variabel hujan yang mempunyai korelasi parsial paling tinggi. Dengan nilai ini, hubungan antara variabel hujan dengan $\log (F(t)+1)$ diformulasi dengan menggunakan satu variabel hujan saja, tanpa mengurangi validitasnya.

1) Pengamatan pada macam penggunaan lahan Palawija (W)

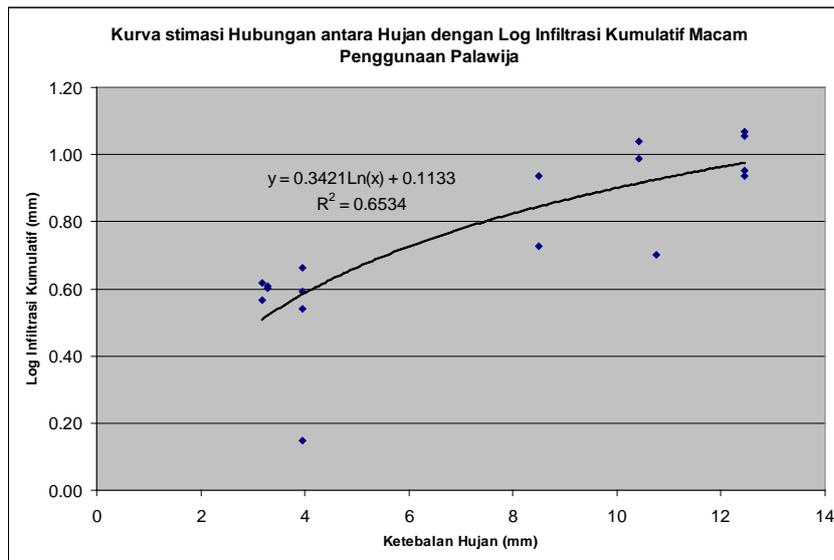
Hubungan $\log (F+1)$ sebagai fungsi dari R dinalisis dengan menggunakan analisis regresi non linier logaritmik, hasilnya adalah :

$$\text{Log} (F_W+1) = 0,3412 \text{ Ln}(R) + 0,1133 \quad (1a)$$

atau retransformasi:

$$F_W = (10^{0,3412 \text{ Ln}(R) + 0,1133}) - 1 \quad (1b)$$

Koefisien determinasi dan korelasi untuk persamaan (38a dan 38b) berturut-turut adalah 0,65 dan 0,81 (lihat Gambar 2).



Gambar 2. Hubungan antara $\text{Log}(F+1)$ dengan R pada lahan Palawija

2) *Pengamatan pada macam penggunaan lahan Agroforestri*

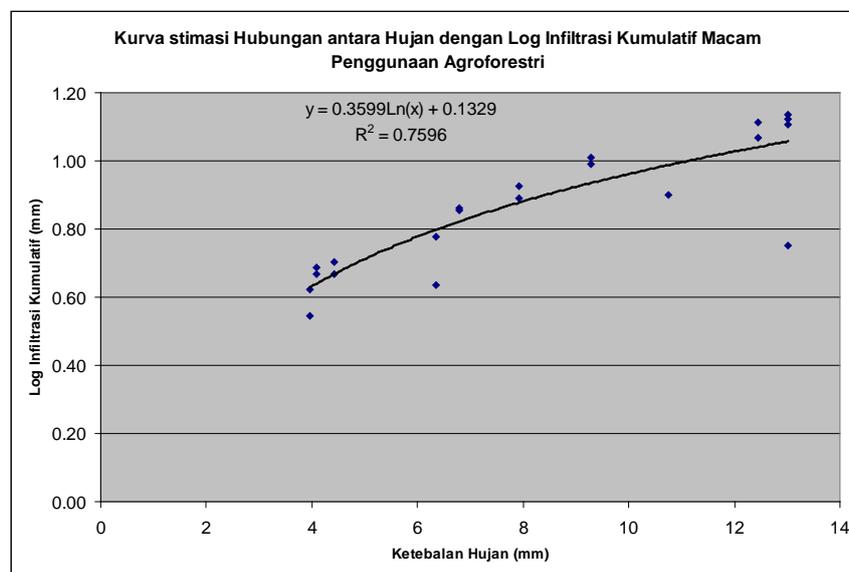
Hubungan antara R dengan $\log(F+1)$ untuk lahan Agroforestry dianalisis disajikan pada persamaan (39).

$$\text{Log}(F_A + 1) = 0,3599 \cdot \text{Ln}(R) + 0,1329 \quad (2a)$$

atau retransformasi:

$$F_A = (10^{0,3599 \cdot \text{Ln}(R) + 0,1329}) - 1 \quad (2b)$$

Koefisien determinasi dan korelasi untuk persamaan tersebut masing-masing adalah 0,7596 dan 0,93 (lihat Gambar 3).



Gambar 3. Hubungan antara $\text{Log}(F+1)$ dengan R pada lahan Agroforestri

3) *Pengamatan pada macam penggunaan lahan Semak*

Analisis regresi logaritmik antara variabel R dengan $\log(F+1)$, menunjukkan angka koefisien determinasi dan nilai korelasi berturut-turut sebesar 0,8073 dan 0,90 (Gambar 4).

$$\text{Log}(F + 1)_N = 0,3457 \cdot \text{Ln}(R) + 0,1366 \quad (3a)$$

atau retransformasi:

$$F_N = (10^{0,3457 \cdot \text{Ln}(R) + 0,1366}) - 1 \quad (3b)$$

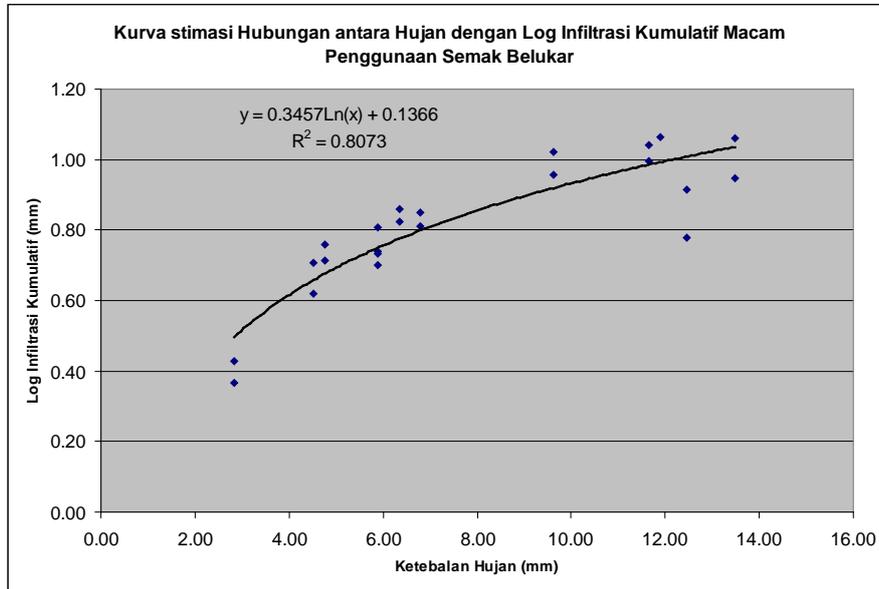
4) *Pengamatan pada macam penggunaan lahan Hutan*

Hubungan antara $\text{Log}(F_H+1)$ dengan R untuk lahan Hutan mempunyai koefisien determinasi 0,8283 dan nilai korelasi 0,91 (Gambar 5).

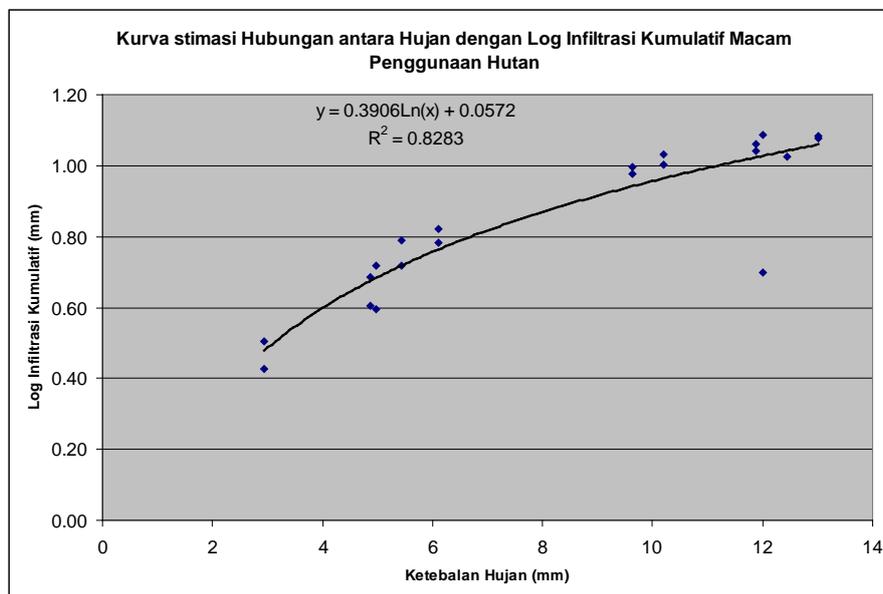
$$\text{Log}(F_H+1) = 0,3906 \cdot \text{Ln}(R) + 0,0572 \quad (4a)$$

atau retransformasi:

$$F_H = (10^{0,3906 \cdot \text{Ln}(R) + 0,0572}) - 1 \quad (4b)$$



Gambar 4. Hubungan antara $\text{Log}(F+1)$ dengan R pada lahan Semak



Gambar 5. Hubungan antara $\text{Log}(F+1)$ dengan R pada lahan Hutan

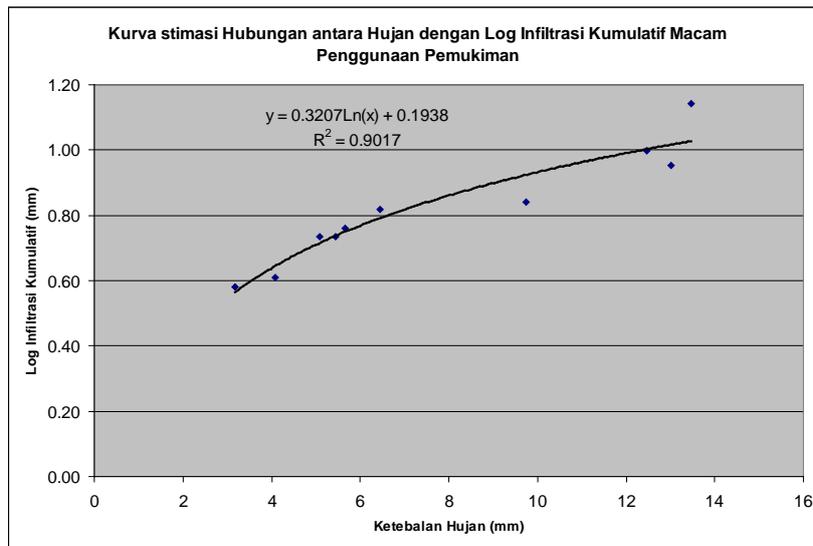
5) **Pengamatan pada macam penggunaan lahan Permukiman**

Infiltrasi kumulatif sebagai fungsi dari ketebalan hujan menurut hasil analisis regresi logaritmik menunjukkan nilai koefisien determinasi dan nilai korelasi masing-masing 0,9017 dan 0,95 (lihat persamaan 42 dan Gambar 6).

$$\text{Log}(F_P + 1) = 0,3207 \cdot \text{Ln}(R) + 0,1938 \quad (5a)$$

atau retransformasi:

$$F_H = (10^{0,3207 \cdot \text{Ln}(R) + 0,1938}) - 1 \quad (5b)$$



Gambar 6. Hubungan antara Log(F+1) dengan R pada lahan Permukiman

6) **Formula Empirik : Hubungan $F(t) = f(R(t))$**

Formula umum hubungan antara F dengan R untuk masing-masing penggunaan lahan adalah :

$$F_{Cr} = 10^{K_{Cr}} - 1 \quad (6)$$

dengan F_{Cr} = infiltrasi kumulatif empirik (mm) untuk masing-masing macam penggunaan lahan (cr)

K_{Cr} = pola hubungan antara F dengan R untuk masing-masing macam penggunaan lahan

Cr = palawija (W); agroforestri (A); tidak digarap (N); hutan (H); dan permukiman (P)

Sedangkan K_{Cr} untuk masing-masing macam penggunaan lahan adalah :

$$K_W = 0,3421 \text{ Ln}(R) + 0,1133$$

$$K_A = 0,3599.Ln(R) + 0,1329$$

$$K_N = 0,3457.Ln(R) + 0,1366$$

$$K_H = 0,3906.Ln(R) + 0,0572$$

$$K_P = 0,3207.Ln(R) + 0,1938$$

KESIMPULAN

Persamaan laju infiltrasi untuk masing-masing macam penggunaan lahan ($f(t)_{Cr}$; mm/jam), sebagai fungsi dari ketebalan hujan h adalah:

$$F_{Cr} = 10^{K_{Cr}} - 1 \quad (6)$$

dengan

F_{Cr} = infiltrasi kumulatif empirik (mm) untuk masing-masing macam penggunaan lahan (cr)

K_{Cr} = pola hubungan antara F dengan R untuk masing-masing macam penggunaan lahan

Cr = palawija (W); agroforestri (A); tidak digarap (N); hutan (H); dan permukiman (P)

KEPUSTAKAAN

- Koorevaar, P., G. Menelik and C. Dirksen (1983), *Elements of soil physics*. Depart. Of Soil Science and Plant Nutrition, Agricultural University of Wageningen, The Netherlands : 9 – 10.
- Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat (Puslittanak) (1997), *Statistik sumber daya lahan/tanahi Indonesia*, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Deptan : 32.
- Rankl, J.G. (1990), *A-point infiltration model for estimating run off from rainfall on small basin in semiarid areas of Wyoming*. U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2366
- Rohmat Dede dan Indratmo Soekarno (2004), *Pendugaan limpasan hujan pada cekungan kecil melalui pengembangan persamaan infiltrasi kolom tanah*; Makalah PIT HATHI XXI, 2004, Denpasar-Bali.
- Rohmat Dede (2005), *Model infiltrasi kolom tanah untuk menduga limpasan hujan pada cekungan kecil di DAS bagian hulu*, Disertasi Doktor, Pasca Sarjana, ITB.
- Soil Survey Staff USDA (1975), *Soil taxonomy, a basic system of soil classification for making and interpreting soil survey*. Soil Conserv. Service USDA, Agric. Handbook No. 436.