

**Formulasi dan Proporsi Infiltrasi Kumulatif Empirik  
menurut Curah Hujan pada Beberapa Macam Penggunaan Lahan  
di Kawasan Hulu-Daerah Aliran Sungai**

(Dimuat pada Jurnal Potensi, Vol. 7, No. 2, September 2005)

Oleh :  
Dede Rohmat  
Jurusan Pendidikan Geografi, Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung  
dan  
Mulyana Wangsadipura  
Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi 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.*

## PENDAHULUAN

Pembentukan dan perluasan lahan kritis sangat berkaitan dengan proses erosi. Di kawasan Daerah Aliran Sungai (DAS) bagian hulu, faktor aliran permukaan (*surface run off*) merupakan faktor utama penyebab erosi. Tingkat kerusakan lahan akibat erosi sangat ditentukan oleh besar kecilnya aliran permukaan, sedangkan aliran permukaan sangat dipengaruhi oleh curah hujan, infiltrasi, intersepsi, evapotranspirasi, dan *storage* (Rohmat, 2004).

Sampai dengan tahun 1995, lahan kritis di Indonesia mencapai 43 juta hektar (ha); 20 juta ha di antaranya adalah lahan kritis hidroorologi (Departemen Kehutanan, 1985). Di Propinsi Jawa Barat, sampai tahun 1994 terdapat 469.700 ha lahan kritis dan 438.150 ha lahan potensial kritis (Puslitannak, 1997).

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).

Hujan sangat sulit dikendalikan. Upaya maksimal yang mungkin dilakukan adalah mengenal dan memformulasikan sifat-sifatnya. Oleh karena itu formulasi pola hujan yang sesuai untuk lokasi penelitian mutlak harus dilakukan (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, akurat 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.

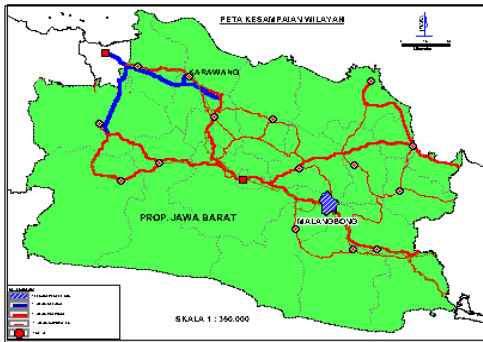
Penelitian ini merupakan terobosan untuk mengatasi keterbatasan data infiltrasi pada berbagai macam penggunaan lahan, sebagai bahan masukan dalam upaya pengelolaan sumberdaya air, lahan, tanah, dan vegetasi (hutan).

## KARAKTERISTIK FISIK WILAYAH PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan Wilayah Hulu DAS Cimanuk, yang secara administratif termasuk Kecamatan Malangbong Kabupaten Garut, atau secara geografis terletak pada 108° 14' 08" BT - 108° 16' BT dan 06° 54' 44" LS - 07° 01' 36" LS. Sekitar 2 jam perjalanan dari Bandung (Gambar 1).

Lokasi penelitian terletak pada ketinggian 560 – 800 meter di atas permukaan

laut (m dpl). Kemiringan lereng berkisar antara 15 - >40 %. Rata-rata hujan tahunan wilayah *Cekungan Kecil* Cikumutuk sekitar 2.676 mm per tahun.



Gambar 1 Letak dan kesampaian lokasi

Secara geologi, batuan daerah penelitian merupakan hasil erupsi gunung api tua yang diperkirakan terjadi pada zaman plio-plestosen, umumnya terdiri dari perselingan breksi, lava, tufa dan lahar bersusunan andesit sampai basal.

Menurut Sistem Taxonomy *Soil Survey Staff USDA* (1975), tanah di lokasi termasuk *Great Group Oxorthox; Haplorthox; Rodorthox*; dan *Chromorthox* atau Latosol oksic; Latosol haplik; Latosol rodik; dan Latosol kromik (PPT, 1978/1982). Tanah-tanah ini mempunyai tekstur *clay loam* di permukaan dan *clay* di bawah permukaan.

Lima macam penggunaan lahan ditemukan di atas tanah tersebut yaitu palawija (*second crops*); agroforestri (*agroforestry*); lahan tidak digarap (*non arable land*), hutan atau kayu campuran (*forest or mix timbres*); dan permukiman (*settlement*).

*Palawija* merupakan budidaya lahan kering dengan dominasi tanaman semusim; sedang tanaman tahunan difungsikan sebagai tanaman pelindung atau tanaman batas lahan. Jenis tanaman yang dikembangkan pada lahan ini antara lain jagung, kacang tanah, ubi jalar, padi gogo, singkong, jahe, dan cabe keriting. Palawija tersebar pada tanah *Chromorthox*, *Haplorthox*, dan *Oxthorthox*.

Pengolahan tanah dan pemakaian van organik intensif. Seluruh lahan telah berteras,

kemiringan lahan dianggap sama dengan nol. Secara kualitatif, penutupan lahan oleh tajuk tanaman bervariasi dari 50 % sampai dengan 90 %.

*Agroforestry*, terdiri atas hutan rakyat dan sistem tumpang sari. Sistem hutan rakyat, adalah sistem pemanfaatan lahan dengan tanaman tahunan (100 %). Dominasi tanaman berupa Albazia dari jenis Sengon dan Sengon Buto, dengan jarak tanam masing-masing sekitar 2 x 3 meter dan 5 x 5 meter. Penutupan lahan mencapai 80 - 100 %. Pada sistem tumpang sari, tanaman tahunan yang ditemukan adalah cengkih dan sengon, dengan jarak tanam sekitar 10 x 10 meter. Tanaman semusim yang tumbuh di antara tanaman cengkih adalah cabe, sedangkan di antara tanaman sengon adalah jagung dan singkong. Penutupan lahan pada ini sekitar 70 %.

Penggunaan lahan agroforestri tersebar pada tanah *Chromorthox*, *Haplorthox*, *Oxthorthox*, dan *Rhodorthox*. Lahan ini umumnya telah berteras, sehingga kemiringan lereng dianggap sama dengan nol.

*Lahan yang tidak digarap*, tersebar pada tanah *Haplorthox*, dan *Rhodorthox*. Tumbuhan dominan adalah semak dari 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 %). Areal ini menempati tanah *Haplorthox* dan *Chromorthox*, dengan kemiringan dianggap sama dengan nol.

Permukiman di *Cekungan Kecil* merupakan permukiman khas upland; berteras, terdapat (tampungan) 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 %. Tanah yang ditempati untuk permukiman adalah tanah *Haplorthox*, *Oxthorthox*, dan *Rhodorthox*.

## PROSEDUR PENGUMPULAN DATA

Penelitian menggunakan metode observasi lapangan, dengan pendekatan empirik-analitik. Pengamatan lapangan dilakukan dalam kurun waktu 4 bulan, mulai bulan Januari 2001 hingga April 2001.

Selama kurun waktu penelitian, diambil data hujan dan data infiltrasi kumulatif. Perekaman data hujan dilakukan secara otomatis dengan alat yang mampu mengukur waktu hujan, lama hujan dan ketebalan hujan.

Sampel tanah diambil dari 16 titik pengamatan, representatif pada setiap penggunaan lahan (*palawija, 5 titik pengamatan; Agroforestry, 4 titik pengamatan; non arable land, 2 titik simple; hutan, 2 titik simple; dan permukiman, 3 titik simple*). 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

### Pola Hujan di Wilayah Penelitian

Pola intensitas hujan diformulasi guna memperoleh pola intensitas hujan yang sesuai dengan wilayah penelitian. Menurut Rohmat (2005), hujan di wilayah penelitian mengikuti pola (Rohmat, 2005):

$$I_{t,p} = \left( \frac{9,16 + 6,61.t}{t} \right) e^{-k} \quad (1)$$

dengan I adalah intensitas hujan (mm/jam); t= durasi hujan (jam); e = 2,718; k = 0,0375. p; dan p = probabilitas (%). Ketebalan hujan selama kejadian hujan ( $R(t)_{t,p}$ ) dihitung oleh :

$$R(t)_{t,p} = I_{t,p}.t \quad (2)$$

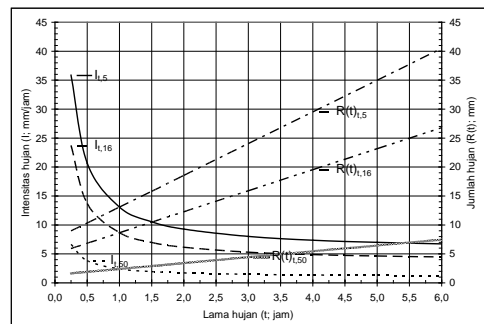
Dengan persamaan (1) dan (2) intensitas dan ketebalan hujan untuk t = 0,25; 0,5; 1; 2; 3; 4; 5; dan 6 jam, dalam kelompok

probabilitas (p) kejadian hujan 50 %; 16 %; dan 5 %, disajikan pada Tabel 1 dan Gambar 2. Nilai probabilitas 50 % digunakan sebagai contoh perhitungan dengan pertimbangan, probabilitas 50 % merupakan nilai rata-rata dalam sebaran normal;; probabilitas 16 %, adalah nilai rata-rata ditambah standar deviasi; dan probabilitas 5 % adalah nilai ekstrim.

Tabel 1

Intensitas hujan dan ketebalan hujan menurut t dan p untuk wilayah penelitian

t (jam)	Intensitas Hujan : I (mm/jam) dan R(t) (mm) pada :					
	p = 50 %		p = 16 %		p = 5 %	
	$I_{t,p}$	$R(t)_{t,p}$	$I_{t,p}$	$R(t)_{t,p}$	$I_{t,p}$	$R(t)_{t,p}$
0.25	6,63	1,66	23,74	5,93	35,86	8,96
0.50	3,82	1,91	13,68	6,84	20,67	10,33
1,0	2,42	2,42	8,65	8,65	13,07	13,07
1,5	1,95	2,93	6,98	10,47	10,54	15,81
2,0	1,72	3,43	6,14	12,28	9,28	18,55
3,0	1,48	4,45	5,30	15,91	8,01	24,03
4,0	1,36	5,46	4,88	19,54	7,38	29,51
5,0	1,29	6,47	4,63	23,17	7,00	34,99
6,0	1,25	7,49	4,47	26,79	6,75	40,47



Gambar 2

Intensitas dan ketebalan hujan menurut t dan p

### Efek Variabel Hujan terhadap Infiltrasi Kumulatif Empirik

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 *meannya*. 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 variabel 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.

#### ***Pengamatan pada lahan Palawija (W)***

Terdapat lima buah titik pengamatan yang ditempatkan pada macam penggunaan lahan palawija. Kelima buah titik pengamatan ini mewakili setiap jenis vegetasi/tanaman dan jenis (great group) lahan palawija. Jumlah data yang terekam dalam macam penggunaan lahan ini adalah 195 buah data.

Hasil analisis regresi linier ganda, diperoleh bahwa variabel durasi, ketebalan dan intensitas hujan (t, R(t), dan I ) memberikan hubungan signifikan terhadap infiltrasi kumulatif ( $\log F(t)+1$ ). Namun nilai korelasi parsial variabel R(t) terhadap  $\log(F(t)+1)$  paling besar, yaitu 0,838 dibandingkan variabel t dan I masing-masing sebesar 0,280 dan 0,532.

Hubungan  $\log(F(t)+1)$  fungsi dari R(t) dianalisis lebih lanjut melalui analisis regresi non linier kuadrat. Hasilnya dinyatakan oleh  $K_W$  (persamaan (3)) :

$$K_W = -0,0005.(R(t))^2 + 0,045.R(t) + 0,37 \quad (3)$$

Koefisien determinasi dan korelasi untuk persamaan (3) berturut-turut adalah 0,83 dan 0,9. Artinya 83 % nilai  $K_W$  pada lahan palawija dapat dijelaskan oleh R(t).

#### ***Pengamatan pada lahan Agroforestri***

Terdapat dua titik sampel pengamatan yang ditempatkan di macam penggunaan lahan ini. Dari dua titik sampel ini, diperoleh 128 data variabel hujan dan infiltrasi kumulatif.

Hasil analisis regresi linier ganda menunjukkan bahwa nilai korelasi parsial variabel R(t) terhadap  $\log(F(t)+1)$  adalah terbesar (0,861), sedangkan t dan I masing-masing 0,464; dan 0,428.

Hubungan R(t) dengan  $\log(F(t)+1)$  dianalisis lebih lanjut dengan regresi kuadrat, dan dinyatakan oleh  $K_A$  (persamaan (4)).

$$K_A = -0,0005(R(t))^2 + 0,045.R(t) + 0,40 \quad (4)$$

Koefisien determinasi dan korelasi untuk persamaan (4) masing-masing adalah 0,85 dan 0,92. Artinya 85 % nilai  $K_A$  pada lahan agroforestri dapat dijelaskan oleh R(t).

#### ***Pengamatan pada lahan Tidak Digarap***

Selama kurun waktu pengamatan, dari 2 titik sampel pengamatan pada penggunaan lahan ini diperoleh 85 buah data variabel hujan dan F(t).

Analisis regresi linier berganda menunjukkan bahwa variabel t, R(t), dan I mempunyai hubungan signifikan terhadap  $\log(F(t)+1)$ . Nilai korelasi parsial R(t) terhadap  $\log(F(t)+1)$  menunjukkan angka 0,851, jauh lebih besar dari variabel t (0,325) dan I (0,415).

Analisis regresi kuadrat antara variabel R(t) dengan  $\log(F(t)+1)$  dinyatakan oleh  $K_N$  (persamaan (5)). Koefisien determinasi dan nilai korelasi persamaan (5) berturut-turut sebesar 0,81 dan 0,90.

$$K_N = -0,0004(R(t))^2 + 0,039.R(t) + 0,38 \quad (5)$$

#### ***Pengamatan pada lahan Hutan***

Dari dua titik sampel pengamatan yang ditempatkan pada lahan hutan diperoleh 96 buah data, dan dari hasil analisis diketahui bahwa variabel t, dan R(t) mempunyai

hubungan signifikan dengan  $\log(F(t)+1)$ , dengan koefisien determinasi 0,762 dan nilai korelasi 0,876. Nilai korelasi parsial antara variabel  $R(t)$  dengan  $\log(F(t)+1)$  adalah 0,86;  $t$  0,36; dan  $I$  0,40.

Analisis regresi kuadratik antara variabel  $R(t)$  dengan  $\log(F(t)+1)$ , diperoleh persamaan (6) dan dinyatakan oleh  $K_H$ . Nilai koefisien determinasi dan nilai korelasi masing-masing 0,84 dan 0,91.

$$K_H = -0,0006(R(t))^2 + 0,050.R(t) + 0,33 \quad (6)$$

### Pengamatan pada lahan Permukiman

Diperoleh 121 data dari tiga buah titik sampel pengamatan yang ditempatkan mewakili macam penggunaan lahan permukiman.

Hasil analisis terhadap data tersebut menunjukkan bahwa variabel  $t$  dan  $R(t)$  mempunyai hubungan signifikan terhadap  $\log(F(t)+1)$ , dengan nilai korelasi 0,870 dan koefisien determinasi 0,753. Nilai korelasi parsial variabel  $R(t)$  terhadap  $\log(F(t)+1)$  adalah 0,85, jauh lebih besar daripada  $t$  (0,377) dan  $I$  (0,271).

Infiltrasi kumulatif fungsi dari ketebalan hujan dianalisis lebih lanjut dengan analisis regresi kuadratik dan dinyatakan oleh  $K_P$  (persamaan (7)). Koefisien determinasi dan nilai korelasi persamaan tersebut adalah 0,80 dan 0,89.

$$K_P = -0,0004(R(t))^2 + 0,040.R(t) + 0,42 \quad (7)$$

### Formula Empirik: Infiltrasi Kumulatif Fungsi dari Ketebalan Hujan ( $F(t) = f(R(t))$ )

Melalui retransformasi persamaan (3); (4); (5); (6); dan (7), diperoleh formula hubungan antara  $F(t)$  empirik sebagai fungsi  $R(t)$  empirik. Formula umum hubungan tersebut adalah :

$$F(t)_{Cr} = 10^{K_{Cr}} - 1 \quad (8)$$

dengan  $F(t)_{Cr}$  adalah infiltrasi kumulatif empirik (mm) menurut penggunaan lahan ( $Cr$ );  $K_{Cr}$  adalah pola hubungan antara  $F(t)$  dengan  $R(t)$  menurut penggunaan lahan; dan  $Cr$  adalah palawija ( $W$ ); agroforestri ( $A$ ); lahan tidak digarap ( $N$ ); hutan ( $H$ ); dan permukiman ( $P$ )

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

$$K_W = -0,0005.(R(t))^2 + 0,045.R(t) + 0,37$$

$$K_A = -0,0005(R(t))^2 + 0,045.R(t) + 0,40$$

$$K_N = -0,0004(R(t))^2 + 0,039.R(t) + 0,38$$

$$K_H = -0,0006(R(t))^2 + 0,050.R(t) + 0,33$$

$$K_P = -0,0004(R(t))^2 + 0,040.R(t) + 0,42$$

## Kuantitas Infiltrasi Kumulatif dan Laju Infiltrasi pada Beberapa Penggunaan Lahan

### Penggunaan Lahan Palawija

Infiltrasi empirik dihitung berdasarkan persamaan (8), dengan mensubstitusi notasi  $Cr$  dengan  $W$ , sehingga diperoleh :

$$F(t)_W = 10^{K_W} - 1 \quad (9)$$

Dengan memasukan data ketebalan hujan ( $R(t)$ ; Tabel 1) pada persamaan (9), dihitung jumlah infiltrasi kumulatif ( $F(t)$ ) empirik pada macam penggunaan lahan ini.

$$f(t)_{Cr} = \frac{F(t)_{Cr}}{t} \quad (10)$$

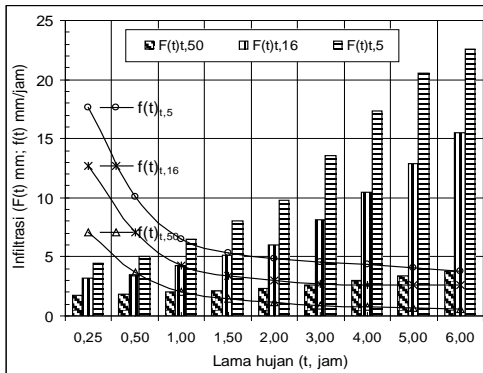
Tabel 2

Infiltrasi kumulatif dan laju infiltrasi empirik pada penggunaan lahan Palawija

t (jam)	Infiltrasi kumulatif (mm) pada p (%)			Laju infiltrasi (mm/jam) pada p (%)		
	F(t) <sub>t,50</sub>	F(t) <sub>t,16</sub>	F(t) <sub>t,5</sub>	f(t) <sub>t,50</sub>	f(t) <sub>t,16</sub>	f(t) <sub>t,5</sub>
0,25	1,77	3,16	4,41	7,10	12,65	17,64
0,50	1,85	3,51	5,05	3,69	7,03	10,10
1,00	1,99	4,27	6,46	1,99	4,27	6,46
1,50	2,14	5,11	8,05	1,43	3,41	5,37
2,00	2,30	6,04	9,78	1,15	3,02	4,89
3,00	2,63	8,11	13,54	0,88	2,70	4,51
4,00	2,99	10,44	17,31	0,75	2,61	4,33
5,00	3,37	12,94	20,50	0,67	2,59	4,10
6,00	3,77	15,47	22,56	0,63	2,58	3,76

$F(t)$  empirik tersebut merupakan akumulasi sejumlah air hujan yang masuk ke dalam tanah selama kurun waktu kejadian hujan ( $t$ ; jam), sehingga laju infiltrasi rata-rata ( $f(t)_W$ ; mm/jam) dihitung dengan persamaan (10).

Hasil perhitungan disajikan pada Tabel 2 dan Gambar 3.



Gambar 3

Infiltrasi kumulatif dan laju infiltrasi empirik untuk macam penggunaan lahan Palawija

### Penggunaan Lahan Agroforestri

Dengan cara yang sama seperti pada lahan palawija, parameter  $K_A$  disubstitusi pada persamaan (8), sehingga diperoleh :

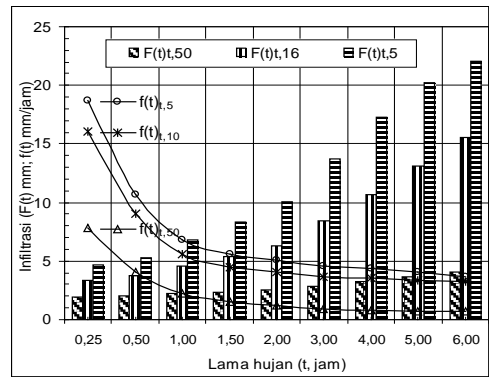
$$F(t)_A = 10^{K_A} - 1 \quad (11)$$

$F(t)_A$  dihitung berdasarkan  $R(t)$  (Tabel 1) dan persamaan (11), sedangkan laju infiltrasi rata-rata ( $f(t)_A$ ; mm/jam) dihitung oleh persamaan (10), hasilnya disajikan pada Tabel 3 dan Gambar 4.

Tabel 3

Infiltrasi kumulatif dan laju infiltrasi empirik untuk penggunaan lahan Agroforestri

t (jam)	Infiltrasi kumulatif (mm) pada p (%)			Laju infiltrasi (mm/jam) pada p (%)		
	$F(t)_{t,50}$	$F(t)_{t,16}$	$F(t)_{t,5}$	$f(t)_{t,50}$	$f(t)_{t,16}$	$f(t)_{t,5}$
0,25	1,96	3,40	4,68	7,85	16,02	18,71
0,50	2,04	3,76	5,33	4,07	9,00	10,66
1,00	2,19	4,54	6,76	2,19	5,58	6,76
1,50	2,35	5,39	8,35	1,56	4,52	5,57
2,00	2,51	6,33	10,07	1,25	4,04	5,04
3,00	2,85	8,41	13,75	0,95	3,66	4,58
4,00	3,22	10,72	17,33	0,81	3,51	4,33
5,00	3,61	13,16	20,25	0,72	3,40	4,05
6,00	4,03	15,59	22,00	0,67	3,26	3,67



Gambar 4

Infiltrasi kumulatif dan laju infiltrasi empirik untuk penggunaan lahan Agroforestri

### Lahan Tidak Digarap

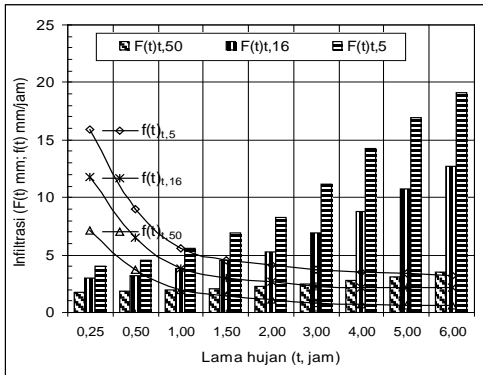
Infiltrasi kumulatif empirik pada lahan tidak digarap dihitung dengan persamaan (12) dan ketebalan hujan Tabel 1, sedangkan laju infiltrasi dihitung dengan persamaan (10). Hasilnya disajikan pada Tabel 4 dan Gambar 5. Persamaan (12) diperoleh dari hasil substitusi parameter  $K_N$  pada persamaan (8).

$$F(t)_N = 10^{K_N} - 1 \quad (12)$$

Tabel 4

Infiltrasi kumulatif dan laju infiltrasi empirik untuk penggunaan lahan Tidak Digarap

t (jam)	Infiltrasi kumulatif (mm) pada p (%)			Laju infiltrasi (mm/jam) pada p (%)		
	$F(t)_{t,50}$	$F(t)_{t,16}$	$F(t)_{t,5}$	$f(t)_{t,50}$	$f(t)_{t,16}$	$f(t)_{t,5}$
0,25	1,78	2,96	3,98	7,11	11,83	15,93
0,50	1,84	3,25	4,50	3,68	6,49	9,00
1,00	1,96	3,87	5,63	1,96	3,87	5,63
1,50	2,10	4,55	6,88	1,40	3,03	4,59
2,00	2,23	5,29	8,24	1,11	2,65	4,12
3,00	2,51	6,93	11,20	0,84	2,31	3,73
4,00	2,81	8,76	14,23	0,70	2,19	3,56
5,00	3,13	10,72	16,99	0,63	2,14	3,40
6,00	3,46	12,73	19,10	0,58	2,12	3,18



Gambar 5

Infiltrasi kumulatif dan laju infiltrasi empirik untuk penggunaan lahan Tidak Digarap

### Penggunaan Lahan Hutan

Nilai infiltrasi empirik pada penggunaan lahan kayu campuran, dihitung berdasarkan persamaan (13), yang diperoleh dari substitusi parameter  $K_H$  pada persamaan (8). Laju infiltrasi dihitung dengan persamaan (10):

$$F(t)_H = 10^{K_H} - 1 \quad (13)$$

Tabel 5 dan Gambar 6, menyajikan nilai infiltrasi kumulatif ( $F(t)_H$ ) dan laju infiltrasi empirik ( $f(t)_H$ ).

Tabel 5

Infiltrasi kumulatif dan laju infiltrasi empirik untuk penggunaan lahan Hutan

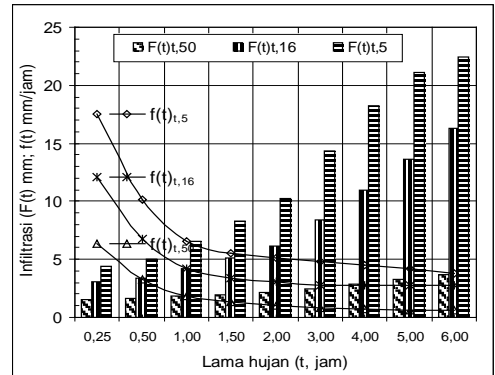
T (jam)	Infiltrasi kumulatif (mm) pada p (%)			Laju infiltrasi (mm/jam) pada p (%)		
	F(t) <sub>t,50</sub>	F(t) <sub>t,16</sub>	F(t) <sub>t,5</sub>	f(t) <sub>t,50</sub>	f(t) <sub>t,16</sub>	f(t) <sub>t,5</sub>
0,25	1,58	3,03	4,37	6,31	12,13	17,48
0,50	1,65	3,41	5,06	3,30	6,81	10,12
1,00	1,80	4,22	6,61	1,80	4,22	6,61
1,50	1,96	5,13	8,35	1,31	3,42	5,56
2,00	2,12	6,14	10,25	1,06	3,07	5,12
3,00	2,47	8,41	14,31	0,82	2,80	4,77
4,00	2,85	10,96	18,19	0,71	2,74	4,55
5,00	3,25	13,67	21,13	0,65	2,73	4,23
6,00	3,68	16,34	22,49	0,61	2,72	3,75

### Penggunaan Lahan Permukiman

Pada lahan permukiman, persamaan (14) bersama-sama dengan data ketebalan hujan Tabel 1 digunakan untuk menghitung infiltrasi

kumulatif empirik, sedangkan laju infiltrasi dihitung dengan persamaan (10). Hasilnya disajikan pada Tabel 6, dan Gambar 7.

$$F(t)_p = 10^{K_p} - 1 \quad (14)$$



Gambar 6

Infiltrasi kumulatif dan laju infiltrasi empirik untuk penggunaan lahan Hutan

Tabel 6

Infiltrasi kumulatif dan laju infiltrasi empirik untuk penggunaan lahan Permukiman

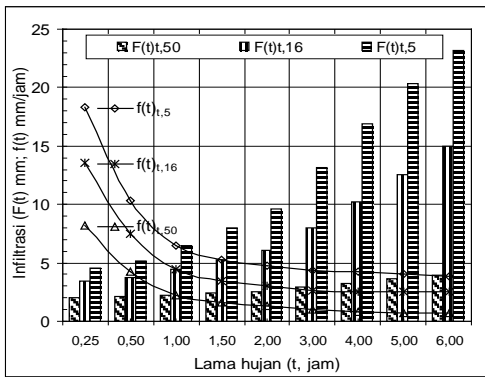
t (jam)	Infiltrasi kumulatif (mm) pada p (%)			Laju infiltrasi (mm/jam) pada p (%)		
	F(t) <sub>t,50</sub>	F(t) <sub>t,16</sub>	F(t) <sub>t,5</sub>	f(t) <sub>t,50</sub>	f(t) <sub>t,16</sub>	f(t) <sub>t,5</sub>
0,25	2,06	3,40	4,58	8,23	13,59	18,31
0,50	2,13	3,73	5,18	4,25	7,46	10,35
1,00	2,27	4,45	6,49	2,27	4,45	6,49
1,50	2,42	5,24	7,96	1,61	3,49	5,31
2,00	2,57	6,10	9,58	1,28	3,05	4,79
3,00	2,89	8,02	13,14	0,96	2,67	4,38
4,00	3,23	10,19	16,87	0,81	2,55	4,22
5,00	3,59	12,55	20,38	0,72	2,51	4,08
6,00	3,98	15,02	23,19	0,66	2,50	3,87

### Proporsi Infiltrasi Kumulatif Empirik

Proporsi infiltrasi kumulatif empirik menyatakan berapa persen ketebalan hujan yang menjadi infiltrasi. Proporsi ( $Pr$ ) ini dihitung oleh persamaan (15).

$$Pr = \left( \frac{F(t)_{Cr}}{R(t)_{i,p}} \right) * 100\% \quad (15)$$

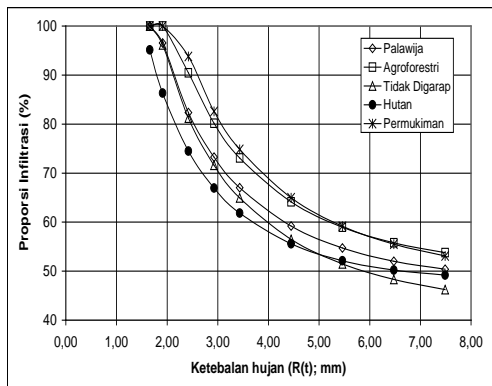




Gambar 7

Infiltrasi kumulatif dan laju infiltrasi empirik untuk penggunaan lahan Permukiman

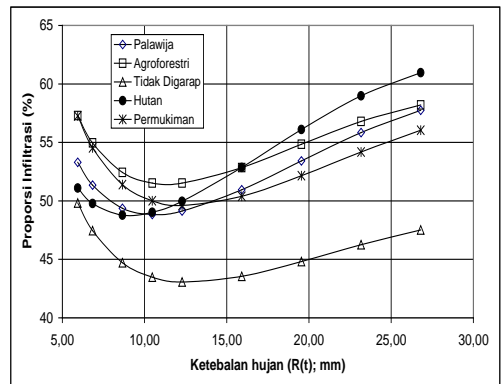
Perhitungan proporsi infiltrasi dilakukan berdasarkan kelompok probabilitas kejadian hujan ( $p$ ) 50 %; 16 %; dan 5 %. Di dalamnya terdapat perhitungan untuk masing-masing penggunaan lahan. Hasil perhitungan untuk masing-masing  $p$  disajikan dalam bentuk Gambar 8 ; Gambar 9; dan Gambar 10.



Gambar 8

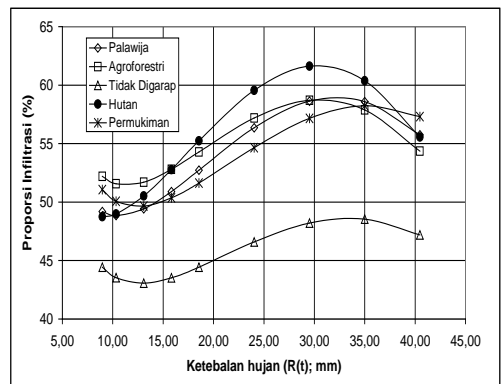
Proporsi infiltrasi kumulatif terhadap hujan pada probabilitas hujan ( $p$ ) 50 %

**Pada  $p = 50\%$**  (Gambar 8), Pada hujan yang kecil  $< 5$  mm, cukup efektif memberikan infiltrasi kumulatif pada lahan permukiman. Pada hujan demikian, infiltrasi kumulatif di permukiman lebih besar daripada empat penggunaan lahan lainnya.



Gambar 9

Proporsi infiltrasi kumulatif terhadap hujan pada probabilitas hujan ( $p$ ) 16 %



Gambar 10

Proporsi infiltrasi kumulatif terhadap hujan pada probabilitas hujan ( $p$ ) 5 %

Proporsi infiltrasi kumulatif pada lahan hutan, hingga hujan 5 mm lebih kecil dari empat macam penggunaan lahan lainnya. Namun ketika  $R(t) > 5$  jam,  $F(t)_H$  menunjukkan peningkatan dan menjadi lebih besar daripada lahan tidak digarap.

Ketebalan hujan yang kecil pada lahan permukiman, hampir seluruhnya jatuh dan diterima oleh permukaan tanah, sedangkan pada lahan lainnya sebagian tertahan oleh tajuk tanaman. Hal inilah yang menyebabkan proporsi infiltrasi pada hujan yang kecil di lahan permukiman lebih besar dari lahan lainnya.

Pada lahan hutan, sampai dengan  $R(t)$  tertentu, air hujan tertahan oleh tajuk tanaman.

Seluruh air hujan diterima oleh tanah, ketika kapasitas tampung tajuk telah terpenuhi. Kondisi ini dicapai setelah ketebalan hujan tertentu. Terdapat dua fungsi utama tajuk tanaman pada lahan hutan, yaitu :

1. menerima dan menampung sebagian air hujan, sehingga butir hujan tidak langsung jatuh di permukaan tanah.
2. mengendalikan dan mengubah mekanisme penyaluran air hujan sebelum diterima oleh permukaan tanah.

Dengan dua fungsi ini, permukaan tanah menerima air hujan dalam bentuk air hujan yang jatuh dari tajuk tumbuhan dan melalui aliran batang, sehingga suplai air hujan lebih kontinu dan lebih terkendali.

**Pada  $p = 16\%$**  (Gambar 9), pada  $R(t) > 15$  mm, proporsi infiltrasi kumulatif terbesar terdapat pada lahan hutan, sebelumnya  $R(t) < 15$  proporsi terbesar terdapat pada lahan agroforestri.

Pada  $R(t) (< 15$  mm), intersepsi masih cukup efektif untuk menahan air hujan. Namun dengan bertambahnya  $R(t)$ , kapasitas intersepsi akan terpenuhi secara optimal. Pada kondisi ini, suplai air hujan ke permukaan tanah sama dengan ketebalan hujan, dengan efektivitas yang lebih baik.

**Pada  $p = 5\%$**  (Gambar 10), seperti halnya dengan  $p = 16\%$ , pada  $R(t) > 15$  mm proporsi infiltrasi kumulatif terbesar terdapat pada lahan hutan. Namun pada  $R(t) > 40$  mm, proporsi ini berkurang. Pengurangan ini disebabkan oleh penjemuran tanah oleh air hujan, sehingga penambahan suplai air tidak lagi mampu menambah infiltrasi kumulatif.

Fenomena ekstrim terdapat lahan tidak digarap. Pada semua ketebalan hujan, kecuali pada  $R(t) < 5$  mm, proporsi infiltrasi kumulatif pada lahan ini paling kecil. Hal ini menunjukkan bahwa lahan tidak digarap tidak efektif untuk proses peresapan air hujan. Vegetasi alang-alang dan semak, tidak cukup efektif untuk membantu proses infiltrasi dibandingkan dengan vegetasi hutan, palawija, agroforestri, dan proses genangan di permukaan lahan permukiman.

Proporsi infiltrasi pada tiga macam penggunaan lahan lainnya, relatif berimbang

pada kisaran 40 – 60 % dari hujan. Proporsi ini dicapai pada  $p < 16\%$ .

Pada  $p = 50\%$ , terutama pada  $R(t) < 5$  mm, proporsi infiltrasi kumulatif di atas 60 % dari hujan. Kondisi ini menunjukkan bahwa pada hujan yang kecil, hujan yang jatuh di atas permukaan tanah diinfiltrasikan ke dalam tanah. Kondisi kelembaban tanah yang rendah pada awal hujan, sangat mendukung proses ini.

## KESIMPULAN

1. Di antara tiga variabel hujan ( $R(t)$ ;  $t$ ;  $I$ ), variabel  $R(t)$  merupakan variabel yang nyata mempengaruhi infiltrasi kumulatif. Hal ini ditunjukkan oleh nilai korelasi parsial  $> 0,85$  pada semua macam penggunaan lahan.
2. Hubungan antara infiltrasi kumulatif empirik ( $F(t)_{Cr}$ ) dengan ketebalan hujan diformulasikan sebagai :

$$F(t)_{Cr} = 10^{K_{Cr}} - 1$$

dengan  $K_{Cr}$  adalah pola hubungan antara  $F(t)$  dengan  $R(t)$  pada palawija (W); agroforestri (A); lahan tidak digarap (N); hutan (H); dan permukiman (P), yang didefinisikan oleh :

$$K_W = -0,0005.(R(t))^2 + 0,045.R(t) + 0,37$$

$$K_A = -0,0005.(R(t))^2 + 0,045.R(t) + 0,40$$

$$K_N = -0,0004.(R(t))^2 + 0,039.R(t) + 0,38$$

$$K_H = -0,0006.(R(t))^2 + 0,050.R(t) + 0,33$$

$$K_P = -0,0004.(R(t))^2 + 0,040.R(t) + 0,42$$

3. Proporsi infiltrasi kumulatif terhadap hujan pada lahan hutan merupakan yang terbesar dibandingkan penggunaan lahan lainnya. Proporsi ini tercapai pada ketebalan hujan lebih besar dari 15 mm dan  $p < 16\%$ .
4. Proporsi infiltrasi terkecil terdapat pada lahan tidak digarap. Kondisi ini terdapat pada ketebalan hujan lebih besar dari 5 mm dan  $p = 50\%$ .
5. Proporsi infiltrasi untuk penggunaan lahan palawija, agroforestri, dan permukiman berada pada kisaran 40 – 60 % dari hujan. Proporsi ini dicapai pada  $p < 16\%$  atau  $R(t) > 15$  mm.

6. Pada awal hujan, dengan ketebalan hujan yang kecil (awal hujan), hampir seluruh air hujan difiltrasikan ke dalam tanah. Kondisi ini terjadi pada seluruh macam penggunaan lahan kecuali lahan hutan.

## KEPUSTAKAAN

- Darmawidjaja Isa (1990), *Klasifikasi tanah*, Gadjah Mada University Press. Yogyakarta 295-319.
- Departement Kehutanan (1985), *dalam* Puslitannak (1997), *Statistik sumber daya lahan/tanah Indonesia*, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, reptan : 29.
- 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.