

Pendugaan Jumlah Limpasan Hujan Pada Cekungan Kecil Melalui Pengembangan Model Infiltrasi Kolom Tanah¹

(Guna Efektivitas Upaya Konservasi Sumberdaya Air Berbasis Pengendalian
Limpasan Hujan Pada Satuan Hidrologi Terkecil)

Oleh :
Dede Rohmat² dan Indratmo Soekarno³

Abstrak

Penelitian ini dilakukan guna mengembangkan model infiltrasi Green-Ampt untuk menduga besarnya limpasan hujan pada cekungan kecil di Hulu suatu DAS. Penelitian dilakukan dengan menggunakan pendekatan empirik-analitik. Metode penelitian adalah penelitian survey dan observasi lapangan dalam kawasan satuan hidrologi (*cekungan kecil*).

Jumlah limpasan hujan yang terukur pada *outlet* suatu cekungan kecil untuk suatu lama kejadian hujan dan periode ulang tertentu, dapat diduga dengan memadukan tiga pendekatan, yaitu pendekatan model infiltrasi kolom tanah (Green-Ampt) yang telah dikembangkan; pendekatan keseimbangan hidrologi; dan pengembangan koefisien C.

Limpasan hujan model atau limpasan hujan hasil pendugaan dalam lingkup cekungan kecil, dapat diandalkan untuk menduga limpasan akibat suatu kejadian hujan tertentu, pada periode ulang tertentu. Rata-rata simpangan limpasan hujan model terhadap limpasan hujan empirik, sekitar 17,69 % pada periode ulang dua tahun; 18,55 pada periode ulang tiga tahun; dan 10,19 % pada periode ulang lima tahun.

1 Pendahuluan

Daerah Aliran Sungai (DAS) yang baik adalah DAS yang mampu memberikan distribusi air yang merata dalam skala ruang dan waktu. Dalam hal ini DAS yang baik adalah DAS yang mampu berperan sebagai pengendali air hujan; yaitu sebagai penerima, penyimpan, dan pengatur distribusi. Fungsi pengendali ini, akan baik, hanya jika lahan dan vegetasi dalam DAS tersebut terkelola dengan baik.

Fenomena degradasi sumberdaya air (SDA) dalam suatu kawasan DAS sebagai satuan hidrologi, bertumpu masalah kerusakan DAS itu sendiri. Kerusakan tersebut diakibatkan oleh

¹ Dipresentasikan pada Pertemuan Ilmiah Tahunan (PIT) XXI dan Kongres VII HATHI Tahun 2004, Denpasar 30 September, 1-2 Oktober 2004

² Staf Pengajar Jurusan Geografi - UPI Bandung dan Doktoran pada Teknik Sumberdaya Air Teknik Sipil ITB

³ Staf Pengajar Departemen Teknik Sipil ITB

pada tiga faktor, yaitu faktor hujan dalam hal ini limpasan hujan; pengelolaan lahan; dan pengelolaan vegetasi.

Upaya konservasi SDA dilakukan dengan pendekatan pengendalian air limpasan hujan melalui pengelolaan lahan dan vegetasi menurut satuan hidrologi terkecil. Upaya-upaya tersebut diwujudkan dalam bentuk kegiatan vegetatif, sipil teknik, dan pemberdayaan masyarakat yang tercakup dalam kegiatan rehabilitasi lahan dan konservasi tanah (RLKT).

Dalam kaitan ini keberadaan data hidrologi (limpasan hujan) yang akurat dan aktual dalam satuan hidrologi (cekungan kecil) menjadi sangat penting. Data limpasan hujan dalam lingkup satuan *cekungan kecil* merupakan bagian integral dari perencanaan dan perancangan kegiatan RLKT. Nama, data tersebut sangat sulit dan memerlukan waktu pengamatan yang lama untuk mendapatkannya.

Hasil penelitian yang disajikan pada makalah ini merupakan terobosan untuk mengatasi keterbatasan data tersebut.

2 Landasan Teori

a Konsep Dasar Cekungan Kecil

Secara fisik, DAS bagian hulu terdiri atas DAS-DAS kecil atau *cekungan-cekungan kecil*. DAS kecil atau *cekungan kecil (small watershed)* adalah suatu cekungan dimana simpanan air saluran (sungai) dan airtanah tidak cukup untuk menurunkan debit puncak. Hal ini terutama dipengaruhi oleh hujan dan tataguna lahan (Black P.E., 1991). Menurut sudut pandang hidrologi, *cekungan kecil* adalah suatu cekungan dimana debit puncaknya lebih dominan dipengaruhi oleh aliran permukaan daripada aliran sungai. *Cekungan kecil* sangat sensitif terhadap intensitas hujan yang tinggi dengan durasi pendek dan tataguna lahan (*Runoff Committee of American Geophysical Union dalam Black P.E., 1991*).

b Persamaan Infiltrasi Metoda Green-Ampt

Green dan Ampt mengembangkan pendekatan alternatif untuk menentukan infiltrasi kumulatif dan laju infiltrasi. Pendekatan tersebut adalah *Teori Fisik* yang dapat diselesaikan dengan *Penyelesaian Analitik Exact (Exact Analytical Solution)* (Chow, V.T., *etc.*, 1988).

Dalam pendekatan fisik Green Ampt mengemukakan istilah *Front Pembasahan*, yaitu suatu batas yang jelas antara tanah yang mempunyai kelembaban tertentu (θ) di bawah dengan tanah jenuh (η) di atasnya. *Front pembasahan* ini terdapat pada kedalaman L yang

dicapai pada waktu t dari permukaan. Dalam pendekatan ini kontrol volume kolom tanah digunakan sebagai satuan analisis.

Kontrol volume merupakan satuan analisis yang dibatasi oleh luas permukaan dan kedalaman L . Air yang masuk ke dalam akan menyebabkan pertambahan kelembaban tanah dari kelembaban (awal) θ pada kedalaman L , maksimum menjadi η (porositas). Pertambahan air sebagai hasil infiltrasi untuk suatu unit volume adalah $L(\eta - \theta)$. Kuantitas ini sama dengan infiltrasi kumulatif (F):

$$F = L \Delta\theta \quad (1)$$

Darcy flux untuk seluruh kedalaman adalah konstan yaitu $-f$; didekati oleh :

$$q = K \frac{(h_1 - h_2)}{(z_1 - z_2)} \quad (2)$$

Jika Ψ adalah *suction head* tanah untuk *wetting front*; h_1 adalah *head* permukaan sama dengan kedalaman genangan (h_0), dan h_2 adalah *head* tanah yang kering di bawah *wetting front*; dengan *head* (h) adalah penjumlahan *suction head* (Ψ) dan *gravity head* (z).

$$h = \Psi + z, \quad (3)$$

maka

$$h_2 = -\Psi - L \quad (4)$$

Hukum Darcy untuk sistem ini adalah :

$$f \approx K \left[\frac{\Psi + L}{L} \right] \quad (5)$$

persamaan di atas ditulis dengan asumsi bahwa genangan permukaan h_0 dapat diabaikan dibandingkan dengan Ψ dan L . Asumsi ini sesuai untuk masalah hidrologi permukaan, sebab genangan h_0 diasumsikan menjadi *runoff* permukaan. Jika h_0 tidak diabaikan; dapat disumsikan bahwa $h_0 = 0$. Melalui serangkaian proses penurunan persamaan diperoleh persamaan Green-Ampt; digunakan untuk menghitung infiltrasi kumulatif $F(t)$:

$$F(t) = \Psi \Delta\theta \ln \left(1 + \frac{F(t)}{\Psi \Delta\theta} \right) + Kt \quad (6)$$

sedangkan tingkat infiltrasi didapat oleh :

$$f(t) = K \left[\frac{\Psi \Delta\theta}{F(t)} + 1 \right] \quad (7)$$

dengan $F(t)$ = infiltrasi kumulatif
 Ψ = *suction head*

- $\Delta\theta$ = selisih antara porositas (η) dengan kandungan air awal (θ)
- K = permeabilitas tanah

3 Garis Besar Pelaksanaan Penelitian

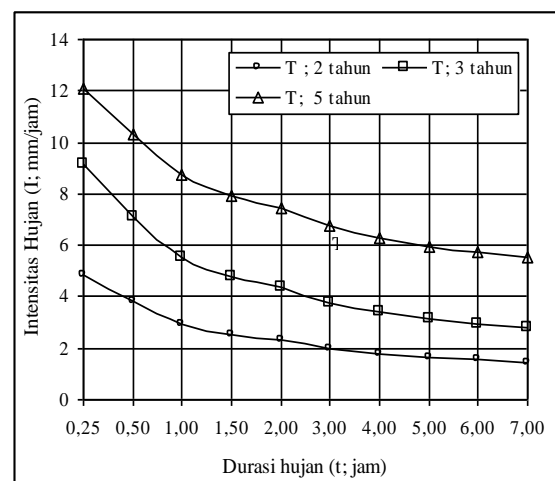
Pengembangan persamaan Analitik Green-Ampt dilakukan dengan pendekatan empirik-analitik guna. Sedangkan metode penelitian yang digunakan adalah penelitian survey dan observasi lapangan dalam kawasan satuan hidrologi (*cekungan kecil*). *Cekungan kecil* yang dijadikan model adalah cekungan kecil Cikumutuk yang terletak di Kabupaten Garut, Kecamatan Malangbong, Desa Cilampuyang.

Pengamatan dilakukan pada lima macam penggunaan lahan sebagai titik sampel pengamatan, yaitu palawija, agroforestri, lahan tidak digarap, kayu campuran (hutan), dan pemukiman. Data yang dikumpulkan, berupa data sifat fisik dan hidraulik tanah, lama dan curah hujan menurut kejadiannya, perubahan kelembaban tanah akibat kejadian hujan (infiltrasi kumulatif), debit sungai, dan sejumlah data penunjang lainnya. Data yang terkumpul disintesis dan diformulasi untuk mengembangkan metode infiltrasi Green-Ampt dan membangun model pendugaan limpasan hujan berdasarkan pendekatan keseimbangan hidrologi pada satu satuan hidrologi (*cekungan kecil*) model.

4 Analisis Data Empirik

a Pola Intensitas Hujan

Terdapat empat metoda yang digunakan untuk analisis pola hujan, yaitu Talbot (1881); Sherman (1905); Ishiguro (1953); dan Mononobe. Dengan pertimbangan bahwa perencanaan kegiatan RLKT lebih banyak ditujukan untuk jangka waktu umur guna kegiatan antara 2 – 5 tahun, dan konsistensi nilai standar deviasi yang lebih baik pada kurun waktu periode ulang (T) 2 sampai dengan 5 tahun, maka model Mononobe merupakan model yang paling baik sesuai untuk digunakan terutama untuk lokasi penelitian dan sekitarnya. Persamaan Model Mononobe untuk ulang 2 tahun



Gambar 1. Pola intensitas hujan Mononobe daerah penelitian

adalah Persamaan (8); T 3 tahun Persamaan (9); dan T 5 tahun adalah Persamaan (10) :

$$I_2 = 0.937 \left(\frac{24}{t} \right)^{0.361} \quad (8)$$

$$I_3 = 1.789 \left(\frac{24}{t} \right)^{0.357} \quad (9)$$

$$I_5 = 4.126 \left(\frac{24}{t} \right)^{0.236} \quad (10)$$

dengan I, intensitas hujan (mm/jam; dan t durasi hujan (jam). Grafik hubungan durasi hujan dengan intensitas hujan pada masing-masing T disajikan pada Gambar 1.

b Hubungan Hujan dengan Infiltrasi Kumulatif

Formulasi hubungan antara besarnya hujan (R(t)) dengan infiltrasi kumulatif (F(t)) dilakukan untuk lima titik sampel pengamatan (macam penggunaan lahan). Hubungan tersebut berupa hubungan logaritmik dengan bilangan pokok sepuluh dan digunakan untuk validasi model infiltrasi kolom tanah hasil pengembangan (lihat Tabel 1).

Tabel 1. Bentuk hubungan (R(t)) dengan (F(t)) untuk lima macam penggunaan lahan

Macam penggunaan lahan	Bentuk hubungan	Persamaan
Palawija	$F(t)_p = [10^{(0,277+0,055R(t)-0,0005R(t)^2)}] - 1$	(11)
Agroforestri	$F(t)_a = 10^{(0,338+0,0402R(t)-0,0002R(t)^2)} - 1$	(12)
Tidak digarap	$F(t)_n = 10^{(0,357+0,0429R(t)-0,0003R(t)^2)} - 1$	(13)
Kayu campuran	$F(t)_k = 10^{(0,252+0,0579R(t)-0,0006R(t)^2)} - 1$	(14)
Pemukiman	$F(t)_m = 10^{(0,369+0,045R(t)-0,0004R(t)^2)} - 1$	(15)

c Pendugaan Suction Head berdasarkan Kelembaban Tanah

Suction head adalah suatu nilai yang menyatakan energi hisapan tanah terhadap air yang ada di dalam pori atau sekitar butir tanah (*soil water*). Energi hisapan ini setara dengan energi yang diperlukan untuk mengeluarkan sejumlah air yang terdapat dalam pori tanah dan/atau sekitar butir tanah. Energi diukur dengan menggunakan satuan tekanan atmosfer atau dengan tinggi kolom air. Nilai pF merupakan nilai logaritma dari tinggi kolom air.

$$pF = \log (-\Psi) \text{ atau } \psi = -(10^{pF}) \quad (16)$$

Nilai pF sendiri sangat dipengaruhi oleh kandungan air tanah, semakin kecil kandungan air semakin besar energi yang diperlukan untuk mengeluarkannya, atau sebaliknya. Dengan demikian, kandungan air tanah dapat digunakan mengukur nilai pF dan *suction head* (Ψ).

$$\psi = -(10)^{29,30-1,684\theta+0,037\theta^2-0,00029\theta^3} \quad (17)$$

d Pendugaan Nilai Permeabilitas Berdasarkan Sifat Fisik Kolom Tanah

Permeabilitas menyatakan kemampuan media porus dalam hal ini adalah tanah untuk meloloskan zat cair (air hujan) baik secara lateral maupun vertikal. Tingkat permeabilitas tanah (cm/jam) merupakan fungsi dari berbagai sifat fisik tanah.

Terdapat 12 sifat fisik tanah yang diduga berpengaruh terhadap permeabilitas tanah, namun hanya 3 yang mempunyai hubungan nyata dengan permeabilitas tanah (K), yaitu : pori drainase cepat (η_c); pori drainase lambat (η_l); dan kandungan air tanah awal (θ). Hubungan antara tiga variabel sifat fisik tanah dengan K, dinyatakan oleh (Persamaan 18) :

$$K \text{ (cm/jam)} = e^{(-2,391 - 0,090.\theta + 0,161.\eta_c + 0,845.\eta_l)} \quad (18)$$

5 Pengembangan Model Infiltrasi Green-Ampt

a Substitusi Parameter ψ dan K

Dengan cara substitusi parameter ψ dan K pada persamaan laju infiltrasi Green-Ampt (Persamaan 7) diperoleh :

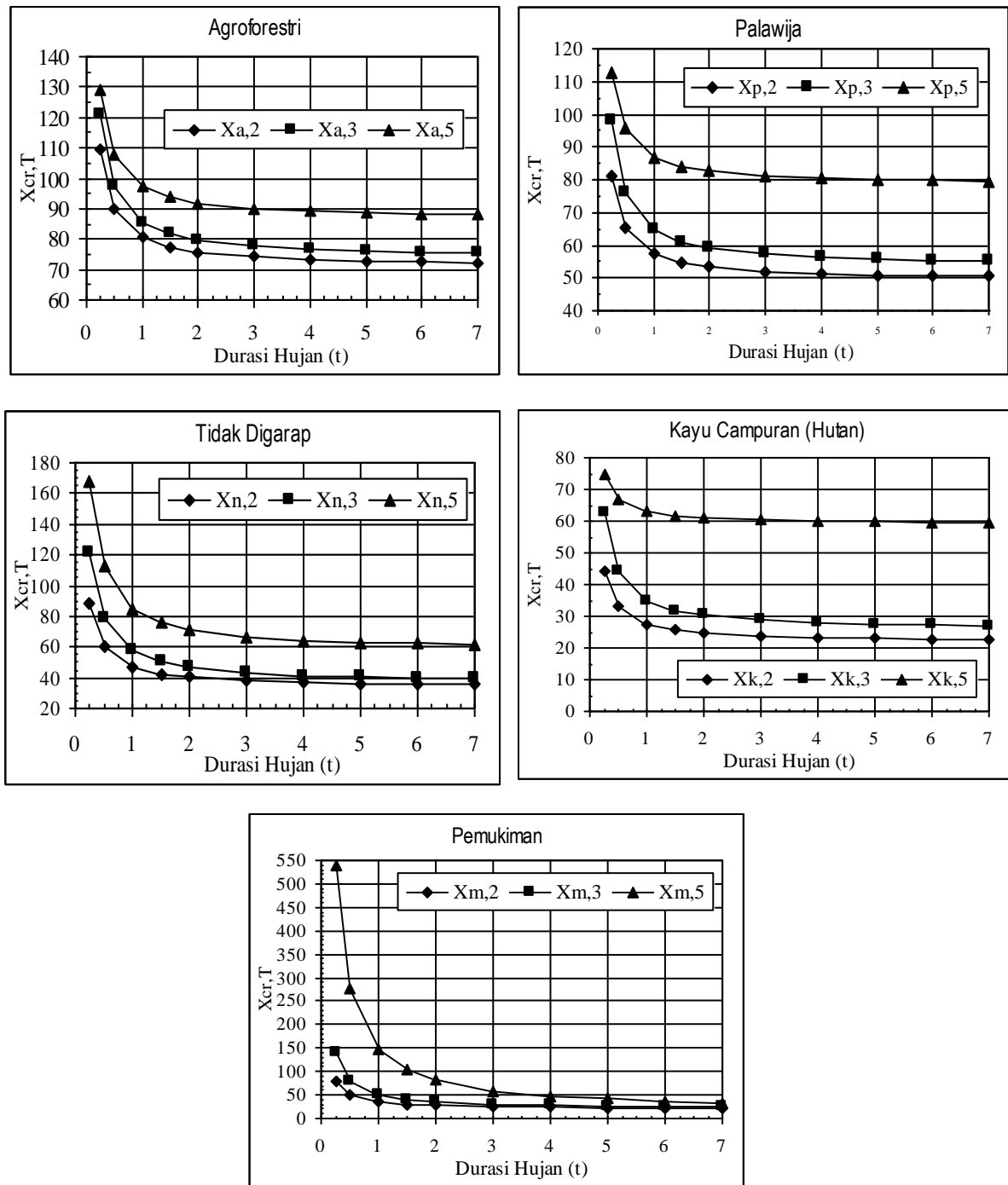
$$f(t) = 10.e^a \left[\frac{\mu}{\chi_{cr,T}} + 1 \right] \quad (19)$$

dengan :

$f(t)$	=	laju infiltrasi (mm/jam)
e^a	=	Permeabilitas tanah (cm/jam)
e	=	2,718282
a	=	$-2,391 - 0,090.\theta + 0,161.\eta_c + 0,845.\eta_l$;
μ	=	$(-10^{(pF)} \cdot \Delta\theta)$
$-10^{(pF)}$	=	Ψ atau suction head (cm)
pF	=	$29,30 - 1,684 \theta + 0,0371 \theta^2 - 0,00029 \theta^3$;
$\Delta\theta$	=	$\eta - \theta$ (non dimensi)
η	=	porositas (% , berdasarkan volume tanah sampel)
θ	=	kandungan air tanah (<i>volumetric water content</i> , %)
$\chi_{cr,T}$	=	parameter infiltrasi kumulatif dummy yang harus dicari formulanya (cm)

b Parameter $\chi_{c,T}$ dan Model Infiltrasi Hasil Pengembangan

Parameter $\chi_{c,T}$ harus dicari agar memberikan nilai $f(t)$ yang sesuai dengan kenyataan lapangan ($F(t)$ empirik). Melalui serangkaian analisis diperoleh bahwa nilai $\chi_{c,T}$ bervariasi menurut macam penggunaan lahan dan periode ulang kejadian hujan. Pendekatan untuk nilai $\chi_{c,T}$ untuk masing-masing persamaan di atas disajikan dalam bentuk grafik (Gambar 2) :



Gambar 2. Pendugaan nilai $\chi_{c,T}$ untuk pendekatan nilai Infiltrasi kumulatif dummy

Dengan nilai $\chi_{cr,T}$ yang variatif demikian, bentuk persamaan infiltrasi hasil pengembangan (Model Infiltrasi) juga bervariasi menurut macam penggunaan lahan (cr) dan periode ulang (T). Berikut bentuk umum persamaan laju infiltrasi disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Bentuk umum persamaan laju infiltrasi macam penggunaan lahan (cr) dan periode ulang (T).

No	Macam Penggunaan Lahan (cr)	$f(t)_{cr,T}$	Persamaan
1	Palawija (p); T = 2 ; 3; 5 tahun	$f(t) = 10.e^a \left[\frac{\mu}{\chi_{p,T}} + 1 \right]$	(20)
2	Agroforestri (a); T = 2 ; 3; 5 tahun	$f(t) = 10.e^a \left[\frac{\mu}{\chi_{a,T}} + 1 \right]$	(21)
3	Tidak Digarap (n); T = 2 ; 3; 5 tahun	$f(t) = 10.e^a \left[\frac{\mu}{\chi_{n,T}} + 1 \right]$	(22)
4	Kayu Campuran (k); T = 2 ; 3; 5 tahun	$f(t) = 10.e^a \left[\frac{\mu}{\chi_{k,T}} + 1 \right]$	(23)
5	Pemukiman (m); T = 2 ; 3; 5 tahun	$f(t) = 10.e^a \left[\frac{\mu}{\chi_{m,T}} + 1 \right]$	(24)

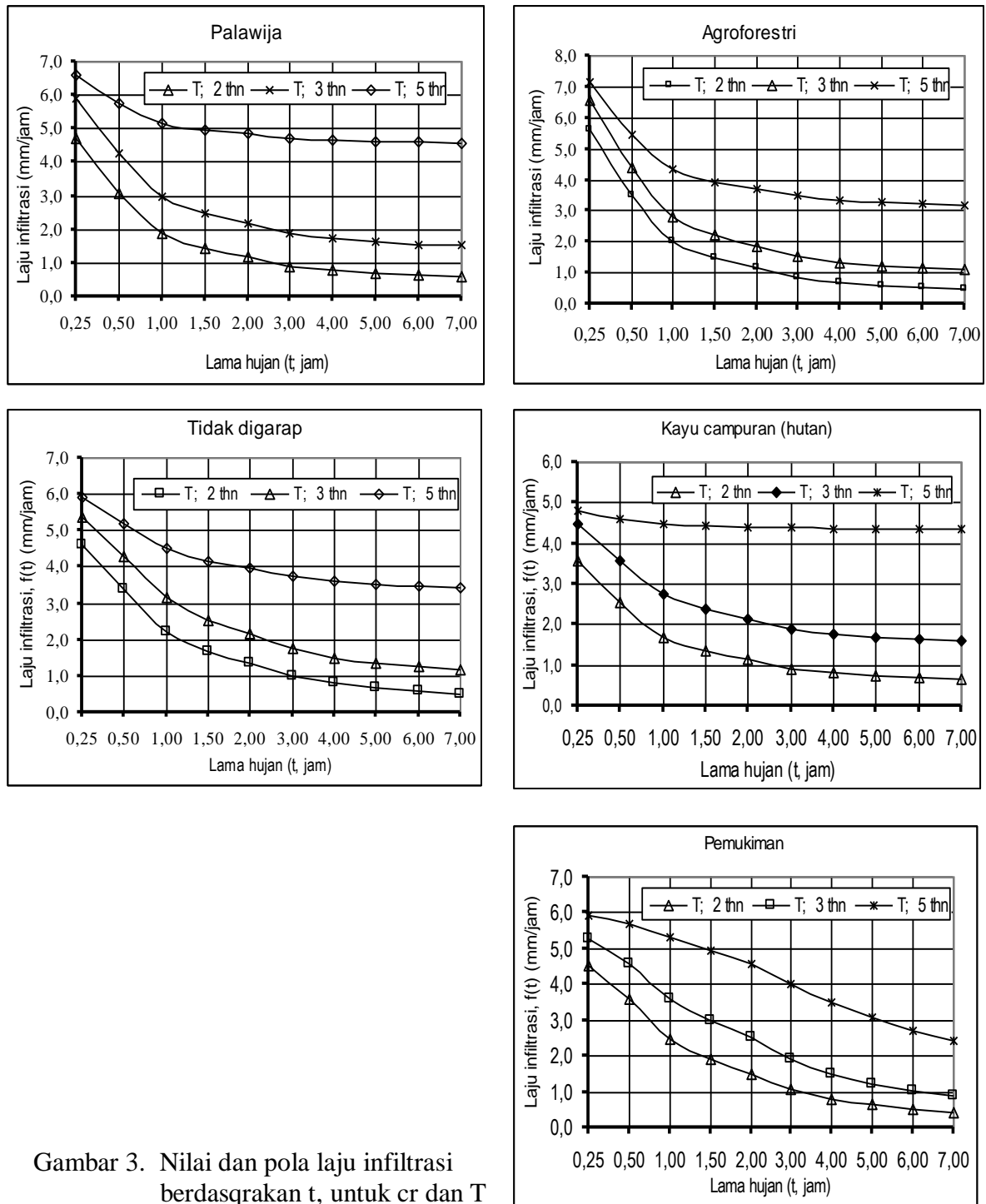
c Contoh perhitungan laju infiltrasi

Contoh perhitungan laju infiltrasi disajikan menurut macam penggunaan lahan pada periode ulang kejadian hujan (T) 5 tahun. Data untuk perhitungan disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. rekap data untuk perhitungan laju infiltrasi model hasil pengembangan

Karakteristik	Palawija	Agroforestri	Tidak digarap	Kayu campuran	Pemukiman
η (%)	60,69	60,94	58,73	58,39	58,79
θ (%)	42,88	41,63	43,73	45,13	45,17
η_c (%)	13,40	14,52	11,71	11,51	11,07
η_l (%)	5,01	5,03	4,89	4,96	4,96
$\Delta\theta$	0,18	0,19	0,15	0,13	0,14

Dengan cara mengganti setiap parameter dengan angka-angka Tabel 2, dan menentukan nilai parameter $\chi_{cr,T}$ untuk setiap macam penggunaan lahan dan periode ulang kejadian hujan, dapat ditentukan nilai dan pola laju infiltrasi (lihat Gambar 3).

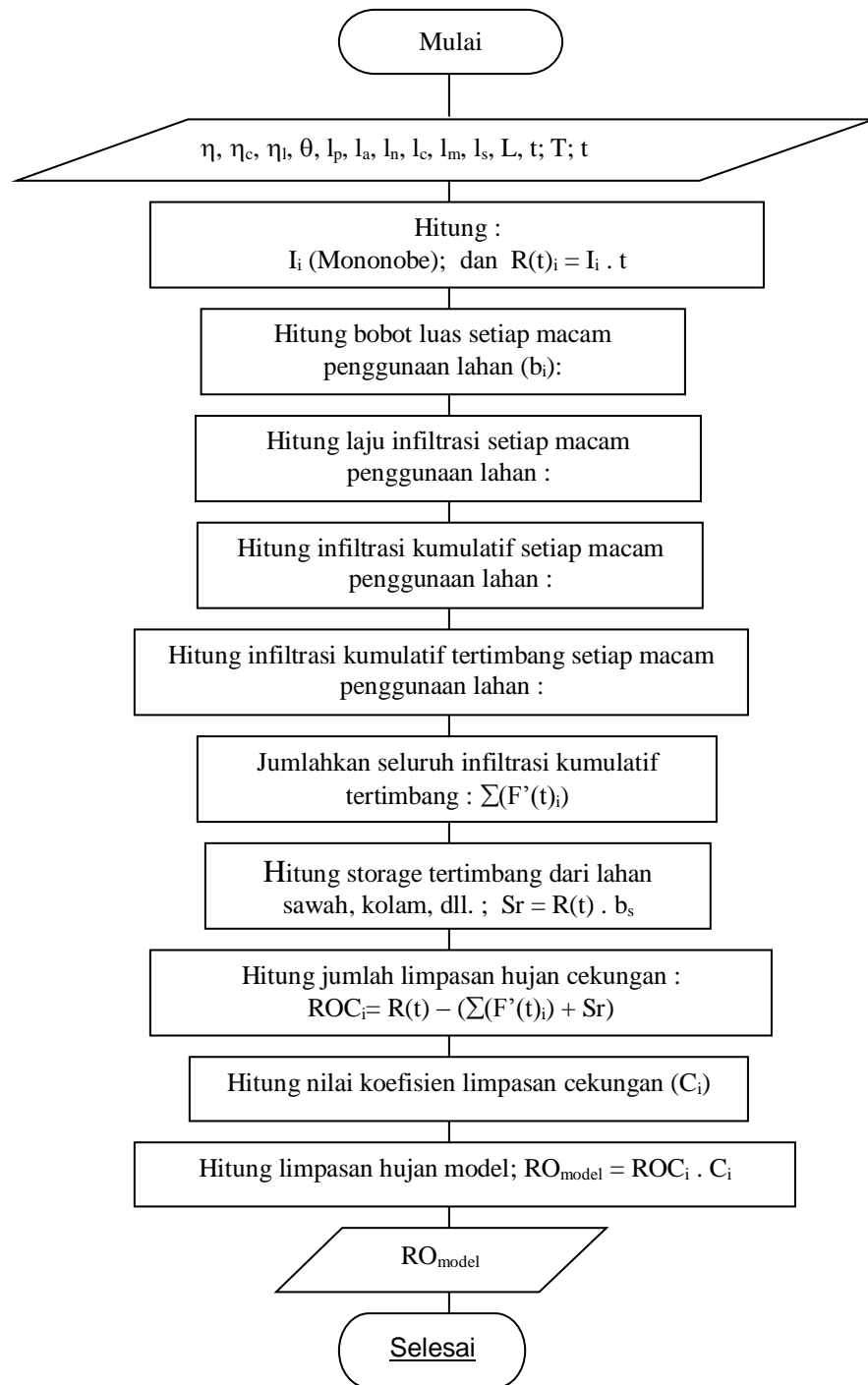


Gambar 3. Nilai dan pola laju infiltrasi berdasqrakan t, untuk cr dan T

6 Pengembangan Prosedur Pendugaan Limpasan Hujan Model

a. Alur Proses

Alur proses pendugaan limpasan hujan pada cekungan kecil, sebagai salah satu formulasi hasil pemodelan disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4 Diagram alir pendugaan limpasan hujan berdasarkan model infiltrasi kolom tanah pada $T = 2$ tahun; bagian (a)

b Parameter yang Dibutuhkan

Beberapa parameter yang dibutuhkan adalah :

- i) Luas dan bobot luas setiap satuan pemanfaatan lahan;
- ii) Jumlah storage (simpanan) air hujan tertimbang pada lahan basah (sawah, kolam, dan lain-lain) atau $S_r = R(t) \cdot b_i$.

- iii) Infiltrasi kumulatif tertimbang ($F'(t)_i$) untuk setiap titik pengamatan, $F'(t)_i = F(t)_i \cdot b_i$;
- iv) Jumlah infiltrasi kumulatif tertimbang untuk seluruh cekungan ($\sum(F'(t)_i)$) merupakan infiltrasi kumulatif gabungan dari setiap macam penggunaan lahan.
- v) Limpasan hujan cekungan (ROC), atau $ROC = R(t) - \{\sum(F'(t)_i) + S_r\}$
- vi) Jumlah runoff cekungan empirik ($RO_{empirik}$), dihitung dari hasil pengukuran debit sungai di lapangan yang diakibatkan oleh suatu kejadian.
- vii) Koefisien aliran cekungan C_i , merupakan suatu formula untuk menduga nilai koefisien C berdasarkan lama kejadian hujan pada masing-masing periode ulang (C_2 untuk T 2 tahun; C_3 untuk T 3 tahun; dan C_5 untuk T 5 tahun).
- viii) Limpasan hujan model untuk cekungan kecil (RO_{model}), merupakan limpasan hujan hasil pemodelan. Dihasilkan dari perkalian antara ROC dengan formulas C_i .

7 Limpasan Hujan Model dan Validitas

a Koefisien Limpasan Cekungan

Koefisien aliran cekungan C_i , merupakan suatu formula untuk menduga nilai koefisien C berdasarkan lama kejadian hujan. Koefisien C untuk T 2; 3; dan 5 tahun berturut-turut adalah :

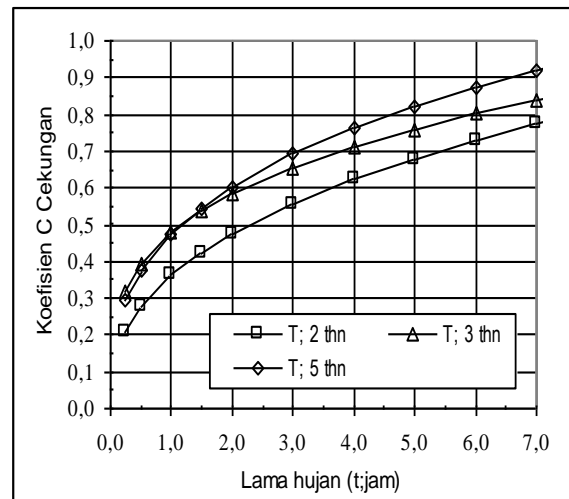
$$C_2 = 0,361368.t^{0,391672} \quad (25)$$

$$C_3 = 0,476976.t^{0,289100} \quad (26)$$

$$C_5 = 0,475807.t^{0,339342} \quad (27)$$

Hubungan-hubungan tersebut digambarkan dalam bentuk Grafik (Gambar 5).

Gambar 5 Grafik koefisien C cekungan pada T 2, 3, dan 5 tahun menurut t (jam)



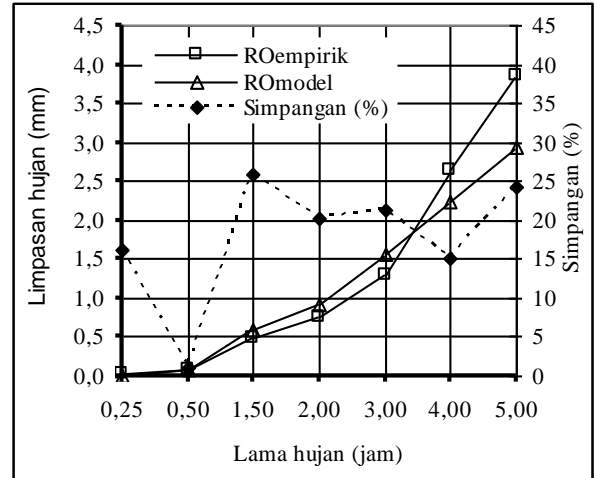
b Jumlah Limpasan Hujan Model (RO_{model}) dan Validitas

Validitas RO_{model} diukur dari besarnya simpangan rata-rata (%) RO_{model} tersebut terhadap $RO_{empirik}$. Rankl (1990) menggunakan angka penyimpangan < 20 % sebagai ukuran validitas model pendugaan limpasan hujan pada cekungan kecil. Kisaran angka ini, juga digunakan untuk mengukur validitas limpasan hujan model.

(i) Periode Ulang (T) 2 tahun

Limpasan hujan hasil pemodelan untuk T 2 tahun, mempunyai rata-rata simpangan dari $RO_{empirik}$ sebesar 17,69 %. Simpangan terbesar terdapat pada lama hujan 1,5 jam dan simpangan terkecil terdapat pada lama hujan 0,5 jam, masing-masing sebesar 25,77 dan 1,01 (lihat Gambar 6).

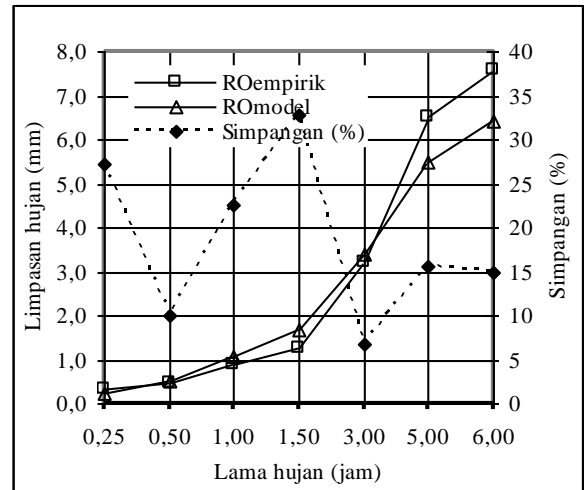
Gambar 6 RO_{model} , dan $RO_{empirik}$ dan simpangannya untuk T 2 tahun



(ii) Periode Ulang (T) 3 Tahun

Rata-rata simpangan RO_{model} dari $RO_{empirik}$ sebesar 18,55 %. Angka simpangan ini, di bawah 20 %. Simpangan terbesar terdapat pada lama hujan 1,5 jam dan simpangan terkecil terdapat pada lama hujan 3 jam, masing-masing sebesar 32,70 % dan 6,72 % (lihat Gambar 7)

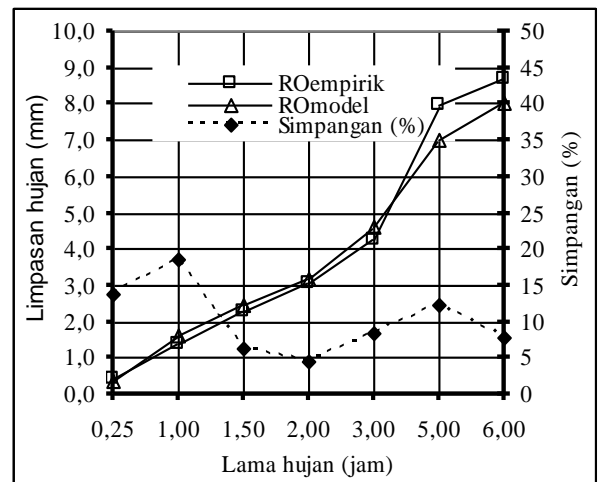
Gambar 7 RO_{model} , dan $RO_{empirik}$ dan simpangannya untuk T 3 tahun



(iii) Periode Ulang (T) 5 Tahun

Simpangan terbesar (18,46 %) RO_{model} atas $RO_{empirik}$ terjadi pada lama kejadian hujan 1 jam. Pada t 2 jam, penyimpangan tersebut paling Cecil (4,48 %). Rata-rata simpangan untuk cekungan sebesar 10,19 % (lihat Gambar 8).

Gambar 8 RO_{model} , dan $RO_{empirik}$ dan simpangannya untuk T 5 tahun



Angka simpangan rata-rata untuk semua periode ulang masih di bawah 20 %, . Artinya model-model ini, dapat diandalkan untuk menduga limpasan hujan cekungan kecil pada periode ulang dan variasi lama hujan tertentu.

7 Kesimpulan

Dari uraian di muka dapat dikemukakan kesimpulan berikut :

- i) Jumlah limpasan hujan yang terukur pada *outlet* suatu cekungan kecil untuk suatu lama kejadian hujan dan periode ulang tertentu, dapat diduga dengan memadukan tiga pendekatan, yaitu pendekatan model infiltrasi kolom tanah (Green-Ampt) yang telah dikembangkan; pendekatan keseimbangan hidrologi; dan pengembangan koefisien C.
- ii) Jumlah limpasan hujan model atau limpasan hujan hasil pendugaan dalam lingkup cekungan kecil, dapat diandalkan untuk menduga limpasan akibat suatu kejadian hujan tertentu, pada periode ulang tertentu. Rata-rata simpangan limpasan hujan model terhadap limpasan hujan empirik, sekitar 17,69 % pada periode ulang dua tahun; 18,55 pada periode ulang tiga tahun; dan 10,19 % pada periode ulang lima tahun.

Daftar Pustaka

- Black Peter E., (1991), *Watershed hydrology*, Prentice Hall, New Jersey;
- Chow, V.T., Maidment, D.R., and Mays L.W. (1988), *Applied hydrology*, McGraw-Hill Book Company, New York, St. Louis, etc.; 110-113.
- Departemen Kehutanan (1996). *Petunjuk pelaksanaan dan petunjuk teknis reboisasi dan rehabilitasi lahan*, Direktorat Jendral RRI, Departemen Kehutanan, Jakarta; 6.
- Hardjowigeno Sarwono, (2003), *Ilmu Tanah*, Akademika Pressindo, Jakarta
- Koorevaar, P., G. Menelik and C. Dirksen (1983), *Elements of soil physics*. Departement of Soil Science and Plant Nutrition, Agricultural University of Wageningen, The Netherlands, Elsevier, Amsterdam, Oxford, New York, Tokyo.
- Laat, P.J.M. de (1987), *Agricultural hydrology*, International Institute for Hydraulic and environmental Engineering, Delft Netherlands; 5-6.
- 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 (2000), *Model intensitas hujan cekungan kecil Cikumutuk Das Cimanuk Hulu*; Bahan Seminar I, Tahap II Program S-3 Teknik Rekayasa Sumber Daya Air - Teknik Sipil - Pasca Sarjana - ITB, Mei 2000
- Runoff Committee of American Geophysical Union *dalam* Black P.E. (1991), *Watershed hydrology*, Prentice Hall, New Jersey.
- 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.