

Kajian Koefisien Limpasan Hujan Cekungan Kecil Berdasarkan Model Infiltrasi Empirik untuk DAS Bagian Hulu (Kasus pada Cekungan Kecil Cikumutuk DAS Cimanuk Hulu)

Indratmo Soekarno¹⁾
Dede Rohmat²⁾

Abstrak

Infiltrasi kumulatif dihitung oleh $F(f) = f(t).t$. Laju infiltrasi ($f(t)$) merupakan fungsi kelembaban tanah awal (θ); kandungan pori drainase cepat dan drainase lambat (O_c dan O_l); serta durasi dan probabilitas hujan (t dan p). Nilai $F(t)$ (mm) semakin besar dengan bertambahnya waktu hujan dan semakin kecilnya probabilitas hujan. Nilai ini berkisar antara 1,59 – 20,50 untuk lahan palawija; 1,88 – 21,23 untuk lahan agroforestri; 1,36 – 17,84 untuk lahan tidak digarap; 1,11 – 23,88 untuk lahan kayu campuran; dan 1,28 – 22,59 untuk lahan permukiman.

Koefisien limpasan riil cekungan (C); merupakan perbandingan antara limpasan hujan empirik ($RO_{empirik}$) dengan limpasan hujan model (ROC). Koefisien C model cekungan kecil (C_M) diformulasi sebagai fungsi dari t dan p . dengan $H = (9,16 + 6,61.t)$. Pada hujan rendah (< 4 mm), nilai C_M adalah kecil (< 0.30). Pada hujan lebih besar ($> 6 - 24$ mm), nilai C_M lebih tinggi ($\geq 0.30 - 0.60$). Pada hujan > 24 mm, nilai C_M cenderung menuju konstan.

Nilai $(1-C_M)$ menunjukkan proporsi air dari ROC yang tersimpan pada cekungan kecil dalam bentuk intersepsi oleh tumbuhan; tertahan oleh ledok, tampungan kecil, atau reservoir-reservoir buatan, baik di permukaan maupun di dalam tanah. Simpanan ini, sekitar 40 % dari ROC.

Kata-kata Kunci: Koefisien limpasan hujan, cekungan kecil, model infiltrasi empirik.

Abstract

Cumulative infiltrate calculated by $F(t) = f(t).t$. Rate of infiltrate ($f(t)$) is function of initial soil moisture (θ), content of rapid and slow drainage pores (η_c and η_l); and duration and probability of rain (t and p). Value of $F(t)$ (mm) ever greater by increasing rain duration and smaller rain probability. This value range from 1,59 - 20,50 for the second crops; 1,88 - 21,23 for the agro forestry; 1,36 - 17,84 for the non arable land; 1,11 - 23,88 for the forest; and 1,28 - 22,59 for the settlement.

The real runoff coefficient of small basin (C) is comparison between empirical run off ($RO_{empirik}$) with the model run off (ROC). The Coefficient C model (C_M) had formulated as with $H = (9,16 + 6,61.t)$. At low rainfall (< 4 mm), the C_M is small (< 0.30); at bigger rainfall ($> 6 - 24$ mm) the value of C_M is higher (0.30 - 0.60); and at rainfall > 24 mm C_M is tend to go constantly.

The value of $(1-C_M)$ indicate proportion of ROC which storage in the forms interception by plant, micro basin on the land surface, or artificial reservoirs. That is around 40 % of ROC.

Keywords: Run off coefficient, small basin, empirical infiltration model.

1. Pendahuluan

Pada tahun tahun 1984 dicanangkan program nasional untuk menangani Daerah Aliran Sungai (DAS) 'Super Prioritas'. Program ini dicanangkan untuk mencegah semakin meluasnya lahan kritis di Indonesia yang hingga tahun 1995 telah mencapai 43 juta hektar (ha)

(Departemen Kehutanan, 1985). Lahan ini kebanyakan berada di Pulau Jawa dan Sumatera.

Program penanganan DAS 'Super Prioritas' tersebut mencakup 39 DAS prioritas yang terdapat di 33 propinsi, 193 Kabupaten; setara dengan 63 juta ha, dan 13 juta ha di antaranya merupakan lahan kritis

1. Staf Pengajar Prodi Teknik Sipil FTSL - ITB
2. Staf Pengajar Jurusan Pendidikan Geografi FPIPS UPI

Catatan : Usulan makalah dikirimkan pada Juli 2005 dan dinilai oleh peer reviewer pada tanggal 02 Agustus 2005 - 29 Nopember 2005. Revisi penulisan dilakukan antara tanggal 21 Nopember 2005 hingga 08 Desember 2005.

yang perlu direhabilitasi (World Bank, 1993).

Kondisi hidroorologi DAS merupakan salah satu indikator, apakah suatu DAS dikategorikan *super prioritas* atau tidak. Terdapat tiga parameter kondisi hidroorologi yaitu keseimbangan hidrologi, tingkat erosi, dan tingkat sedimentasi. Dua parameter terakhir sebenarnya merupakan fungsi dari parameter yang disebutkan pertama.

Kondisi hidrologi suatu kawasan DAS dikatakan tidak seimbang, jika limpasan hujan akibat suatu kejadian hujan lebih besar daripada air yang disimpan dalam kawasan DAS. Infiltrasi, intersepsi dan storage merupakan bentuk-bentuk simpanan air hujan dalam kawasan DAS. Ketidakseimbangan ini menyebabkan ratio antara debit (limpasan hujan) maksimum pada musim hujan dengan debit minimum pada musim kemarau menjadi sangat besar.

Dalam kaitan ini, mengetahui komposisi komponen hidrologi secara akurat, terutama hujan, limpasan hujan, dan storage cekungan dalam suatu satuan hidrologi menjadi sangat strategis. Namun demikian, data komponen hidrologi tersebut sangat terbatas.

Studi untuk mengetahui komposisi setiap komponen hidrologi dengan menggunakan model lapangan *Cekungan Kecil Cikumutuk* sebagai kasus telah dilakukan oleh Rohmat (2005).

Walaupun secara sepiantas sangat sporadis dan sulit dikenali, pola intensitas hujan (I_t) untuk suatu kawasan DAS dapat diformulasikan berdasarkan durasi dan probabilitasnya (Rohmat, 2005). Berdasarkan pola intensitas hujan tersebut, dan pengembangan model infiltrasi kolom tanah, maka formula untuk menduga besarnya limpasan hujan suatu Cekungan Kecil, juga telah diformulasikan (Rohmat, 2005).

Kajian mengenai Koefisien Limpasan Hujan untuk Cekungan Kecil dilakukan guna memformulasikan komposisi komponen hidrologi, terutama untuk mengetahui berapa besar hujan yang mampu disimpan oleh cekungan kecil.

2. Kondisi Umum Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Cekungan Kecil Cikumutuk sebagai cekungan kecil kasus. Secara administratif cekungan kecil ini terletak di Kecamatan Malangbong Kabupaten Garut Propinsi Jawa Barat (**Gambar 1**), dan secara geografis terletak pada $108^{\circ}14'08''$ BT- $108^{\circ}16'16''$ BT dan $06^{\circ}54'44''$ LS - $07^{\circ}01'36''$ LS. Luas Cekungan kecil sekitar 128,42 ha, dan 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. Lokasi daerah studi

Batuan daerah penelitian merupakan hasil erupsi gunung api tua yang terjadi pada zaman plio-plestosen, umumnya terdiri dari perselingan breksi, lava, tufa dan lahar bersusunan andesit sampai basal (Purwanto, 1999).

Tanah di lokasi penelitian termasuk *Oxorthox*; *Haplorthox*; *Rodorthox*; dan *Chromorthox* (Soil Survey Staff USDA, 1975) atau Latosol oksic; Latosol haplik; Latosol rodik; dan Latosol kromik (Darmawidjaja, 1990). Tanah-tanah ini mempunyai tekstur *clay loam* di permukaan dan *clay* di bawah permukaan (Rohmat, 2004).

Lima macam penggunaan lahan ditemukan di atas tanah tersebut yaitu palawija (*second crops*); agroforestri (agroforestry); lahan tidak digarap (*non arable land*), 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. 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 bahan 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 cengkik 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 lokasi penelitian merupakan pemukiman khas dataran tinggi (*upland*); berteras, terdapat tampungan (*storage*) di permukaan lahan, tidak mempunyai saluran drainase khusus, namun 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*.

3. 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.

Pengamatan dan perhitungan intensitas hujan dilakukan secara manual dan otomatis. Pengamatan hujan otomatis dilakukan dengan alat pengukur hujan otomatis yang mampu mengukur waktu hujan, durasi hujan dan ketebalan hujan. Data ketebalan dan durasi hujan digunakan untuk menghitung intensitas hujan per kejadian hujan. Alat ini tersedia dalam stasiun pengamatan cuaca di kawasan *Cekungan Kecil Cikumutuk*.

Pengamatan hujan manual dilakukan untuk data ketebalan hujan kumulatif dari suatu kejadian hujan. Data ini digunakan sebagai pembanding dan koreksi untuk hujan kawasan *Cekungan Kecil*. Pengukur hujan manual ditempatkan pada 5 lokasi tersebar dan mewakili seluruh areal *Cekungan*.

Pengamatan dan pengukuran debit sungai dilakukan pada setiap kejadian hujan, melalui pengamatan fluktuasi/kenaikan permukaan air sungai; pengukuran/perhitungan luas penampang sungai sebagai fungsi dari tinggi muka air sungai; dan pengukuran kecepatan arus sungai. Pengukuran kecepatan aliran sungai dilakukan dengan menggunakan alat *Current Meter*. Debit sungai (Q) dihitung dengan menggunakan **Persamaan (1)**.

$$Q = A \cdot v \quad (1)$$

dengan, Q adalah debit sungai (m³/dt); A adalah luas penampang basah (m²); dan v adalah kecepatan arus sungai (m/dt)

4. Pola Intensitas Hujan dan Model Infiltrasi Empirik

4.1 Pola intensitas hujan

Rohmat, (2005) telah memformulasi pola intensitas hujan guna memperoleh intensitas dan ketebalan hujan berdasarkan durasi dan probabilitas hujan yang sesuai untuk DAS bagian hulu.

Pola intensitas hujan disajikan dalam bentuk persamaan yang menyatakan intensitas hujan (I; mm/jam) sebagai fungsi dari durasi hujan (t; jam) dan probabilitas (%), atau $I = f(t,p)$. Formulasi dilakukan berdasarkan 162 data kejadian hujan yang direkam selama kurun 3 tahun. Formula pola intensitas hujan hasil disajikan pada **Persamaan (2)**.

$$I_{t,p} = \left(\frac{9,16 + 6,61.t}{t} \right) \cdot e^{-k} \quad (2)$$

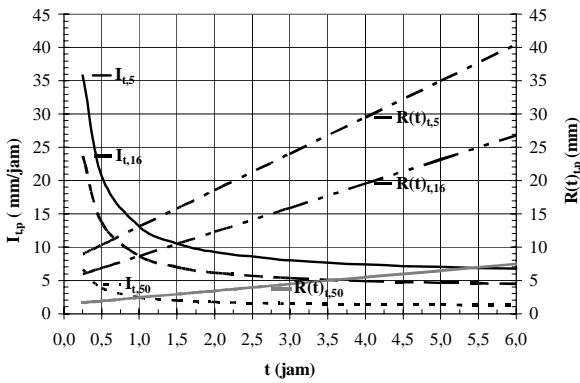
dengan, I adalah intensitas hujan (mm/jam); t adalah durasi hujan (jam); $e = 2,718$; $k=0,0375$. p; dan p adalah probabilitas (%). Ketebalan hujan selama kejadian hujan ($R(t)_{t,p}$) dihitung oleh :

$$R(t)_{t,p} = I_{t,p} \cdot t \quad (3)$$

Intensitas hujan (**Persamaan (2)**) dan ketebalan hujan (**Persamaan (3)**) yang dihitung pada $t = 0,25; 0,5; 1; 2; 3; 4; 5$; dan 6 jam, dan $p = 50 \%; 16 \%;$ dan 5 % disajikan pada **Gambar 2**. Secara statistika distribusi normal, $p=50 \%$ adalah nilai rata-rata; $p=16 \%$ adalah nilai rata-rata ditambah standar deviasi; dan $p=5 \%$ adalah nilai ekstrim.

4.2 Model infiltrasi empirik

Formula infiltrasi empirik untuk menduga besarnya laju infiltrasi akibat durasi hujan pada probabilitas hujan tertentu telah diformulasikan oleh Rohmat (2005). Formula tersebut didasarkan atas data lapangan sifat fisik dan hidraulik kolom tanah, dan data infiltrasi kumulatif empirik yang diukur setiap setelah kejadian hujan. Formula tersebut adalah



Gambar 2. Intensitas hujan ($I_{t,p}$) dan ketebalan hujan ($R(t)_{t,p}$; mm) menurut durasi hujan (t ; jam) dan probabilitas (p ; %)

(Persamaan (4)) :

$$f(t)_{\text{mod } el, cr} = 10 \cdot e^a \left[\frac{\mu}{\chi_{Cr}} + 1 \right] \quad (4)$$

dengan : $f(t)$ adalah laju infiltrasi (mm/jam); e^a adalah Permeabilitas tanah (cm/jam); $e = 2,718$; $a = -2,391 - 0,090 \cdot \theta + 0,161 \cdot \eta_c + 0,845 \cdot \eta_1$; $\mu = [-(10^{pF} \cdot \Delta\theta)]$; $\Delta\theta = \eta - \theta$; dan χ_{Cr} adalah infiltrasi kumulatif dummy (cm) untuk masing-masing macam penggunaan lahan. Infiltrasi kumulatif dummy disajikan dalam bentuk persamaan yang bentuknya berbeda menurut macam penggunaan (Cr). Cr terdiri atas W (palawija); A (agroforrestri); N (tidak digarap); H (kayu campuran/hutan); (P) permukiman. Formula parameter χ_{Cr} untuk masing-masing penggunaan lahan adalah :

$$\chi_W = \frac{69.36}{p^{0.091}} e^{\frac{1.99}{t} p^{-0.59}} \quad (\text{lahan palawija})$$

$$\chi_A = \frac{95.93}{p^{0.077}} e^{\frac{0.77}{t} p^{-0.40}} \quad (\text{lahan agroforestri})$$

$$\chi_N = \frac{59.48}{p^{0.148}} e^{\frac{2.03}{t} p^{-0.46}} \quad (\text{lahan tidak digarap})$$

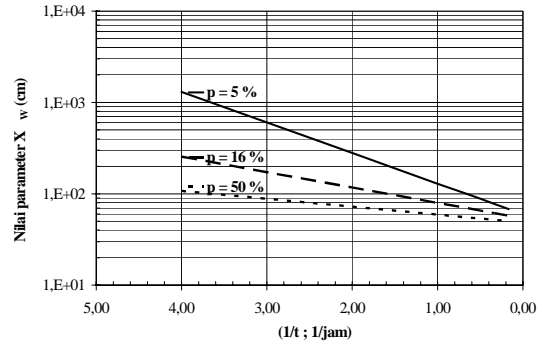
$$\chi_H = \frac{61.58}{p^{0.268}} e^{\frac{4.95}{t} p^{-0.75}} \quad (\text{lahan hutan})$$

$$\chi_P = \frac{57.46}{p^{0.251}} e^{\frac{5.72}{t} p^{-0.66}} \quad (\text{lahan permukiman})$$

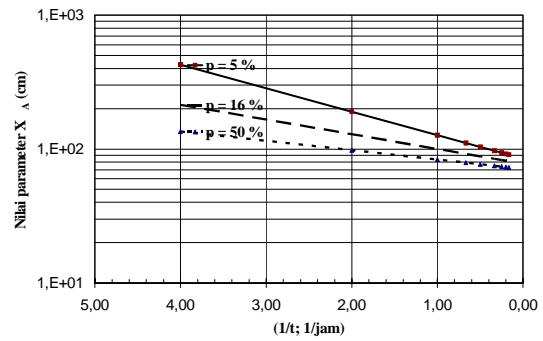
Pada semua probabilitas kejadian hujan, nilai χ_{Cr} sebagai fungsi dari durasi hujan membentuk garis linier pada grafik semilogaritmik (lihat Gambar 3 (A) s.d (E)).

Selanjutnya infiltrasi kumulatif untuk setiap kejadian hujan dengan durasi hujan (t) tertentu, dihitung dengan Persamaan (5).

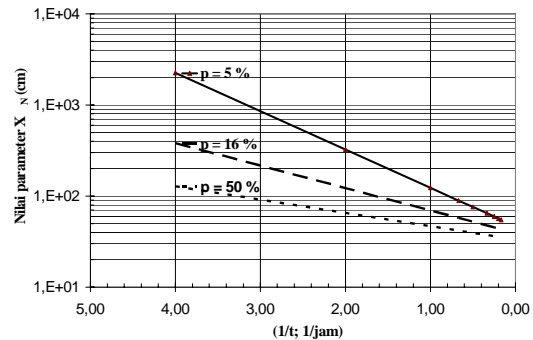
$$F(t)_{\text{model}, cr} = f(t)_{\text{model}, cr} \cdot T \quad (5)$$



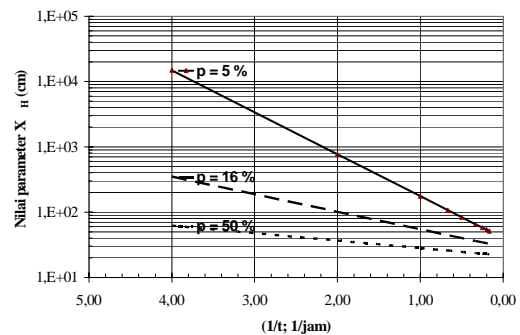
(A) Lahan palawija (χ_P)



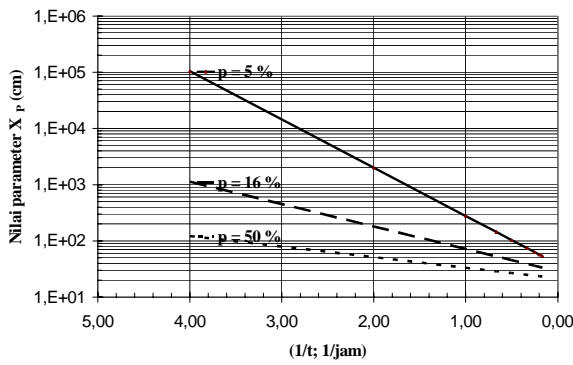
(B) Lahan agroforestry (χ_A)



(C) Lahan lahan tidak digarap (χ_N)

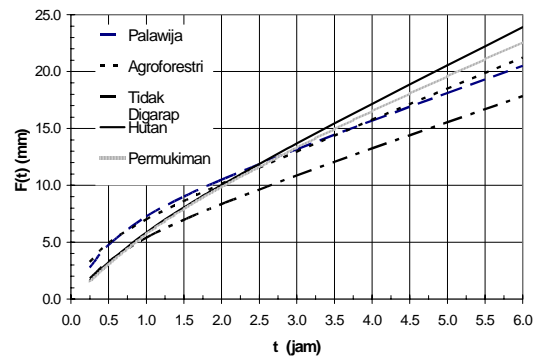


(D) Lahan hutan (χ_H)



(E) Lahan palawija (χ_p)

Gambar 3. Nilai infiltrasi kumulatif *dummy* pada lima macam penggunaan lahan (χ_{Cr}) fungsi dari durasi hujan (t ; jam) probabilitas (p ; %) (A-E)

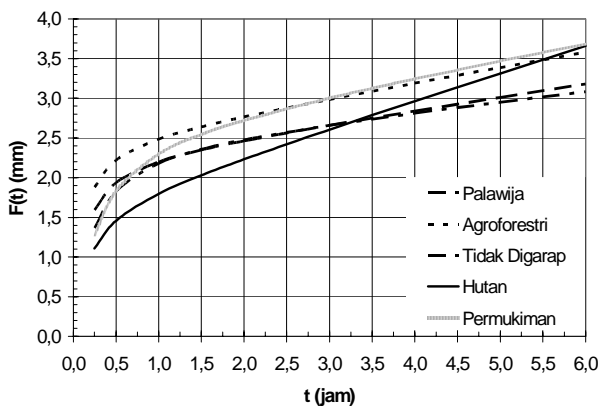


(C) Probabilitas Hujan (p) 5 %

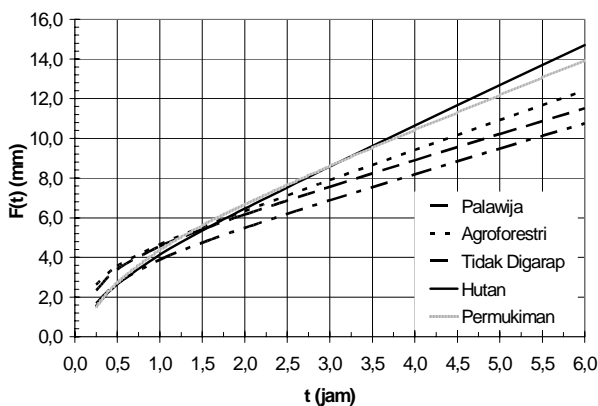
Gambar 4. Infiltrasi kumulatif model untuk lima macam penggunaan lahan dikelompokkan berdasarkan Nilai probabilitas (p) 50 %; 16 %; dan 5 % (A-C)

4.2.1 Kuantitas infiltrasi kumulatif model

Berdasarkan Persamaan (4) dan Persamaan (5), dihitung kuantitas laju infiltrasi dan infiltrasi kumulatif untuk masing-masing macam penggunaan lahan. Hasil perhitungan dikelompokkan berdasarkan nilai probabilitas (p) 50; 16; dan 5 % dan disajikan dalam bentuk grafik Gambar 4 (A) s/d (C).



(A) Probabilitas Hujan (p) 50 %



(B) Probabilitas Hujan (p) 16 %

Infiltrasi kumulatif semakin besar dengan bertambahnya waktu hujan dan semakin kecilnya probabilitas hujan. Kuantitas infiltrasi kumulatif ini (mm) berkisar antara 1,59 – 20,50 untuk lahan palawija; 1,88 – 21,23 untuk lahan agroforestri; 1,36 – 17,84 untuk lahan tidak digarap; 1,11 – 23,88 untuk lahan kayu campuran; dan 1,28 – 22,59 untuk lahan permukiman.

5. Koefisien Limpasan Hujan Cekungan Kecil

5.1 Curah hujan Rill ($R(t)_r$) dan limpasan hujan empirik ($RO_{empirik}$)

Selama kurun waktu penelitian terdapat sekitar 166 data kejadian hujan. Pada data ini tercakup data durasi hujan (t ; jam), ketebalan hujan ($R(t)$; mm), intensitas hujan (I ; mm/jam), dan waktu (tanggal dan jam) kejadian hujan. Hujan yang tercatat selama kurun penelitian tersebut didefinisikan sebagai ketebalan hujan riil atau ($R(t)_r$).

Di samping data hujan, dicatat pula data debit sungai pada kejadian hujan yang sama. Dari pengamatan selama 3 bulan tercatat sebanyak 29 buah data debit sungai (Q ; m^3/dt) yang terpercaya, dan mempunyai hubungan langsung dengan kejadian hujan (Tabel 1). Data Q (m^3/dt) selanjutnya ditransformasi menjadi limpasan hujan empirik dalam satuan mm ($RO_{empirik}$; mm) persamaan (6).

$$RO_{empirik} = \left(\frac{Q}{10.A} \right) . t' \tag{6}$$

dengan $RO_{empirik}$ adalah ketebalan limpasan hujan empirik (mm); Q adalah debit sungai (m^3/dt); A adalah luas cekungan kecil (Ha); dan t' (dt) adalah durasi hujan yang dicatat dan mengakibatkan Q .

5.2 Bobot luas penggunaan lahan

Bobot wilayah (b_{cr}) setiap macam penggunaan lahan merupakan proporsi suatu macam penggunaan lahan terhadap seluruh luas cekungan kecil (Cekungan Kecil Cikumutuk 128,42 Ha); atau dihitung sebagai luas suatu macam penggunaan lahan (l_{cr}) dibagi dengan luas total cekungan kecil (L) (Tabel 2).

$$b_{cr} = \left(\frac{l_{cr}}{L} \right) \cdot 100\% \quad (7)$$

Tabel 1. Variabel hujan riil dan $RO_{empirik}$

t (jam)	R(t)	ROempirik (mm)
1,50	3,00	0,123
1,50	2,20	0,021
1,75	3,10	0,120
2,00	3,50	0,186
5,75	24,20	6,538
2,00	11,40	2,174
4,75	8,60	1,734
1,50	3,10	0,101
3,25	26,10	6,345
3,00	24,60	5,789
1,30	4,70	0,472
2,25	0,90	0,013
2,25	4,40	0,370
3,25	6,70	0,651
2,00	19,30	4,054
0,50	3,10	0,183
1,00	7,80	1,419
5,00	24,40	5,910
5,00	12,70	3,016
3,50	9,50	1,268
5,75	22,30	6,434
1,00	6,00	0,800
4,50	17,20	3,790
3,75	7,80	0,982
0,50	6,80	0,904
1,50	10,50	2,445
2,50	19,30	5,062
1,00	8,70	1,253
1,50	7,80	1,192

Tabel 2. Bobot luas masing-masing penggunaan lahan di Cekungan Kecil Cikumutuk

Penggunaan Lahan	Luas (Ha)	Bobot luas (b_{Cr})
Palawija (W)	49.96	0.3890
Agroforestri (A)	35.15	0.2737
Tidak digarap (N)	5.02	0.0391
Hutan (H)	14.18	0.1104
Permukiman (P)	7.38	0.0575
Sawah (S)	16.73	0.1303
Jumlah	128.42	1,0000

5.3 Limpasan hujan cekungan (ROC)

Perhitungan Kuantitas limpasan hujan cekungan (ROC) memerlukan masukan data ketebalan hujan, jumlah infiltrasi kumulatif tertimbang $\sum(F'(t)_{Cr})$, dan jumlah simpanan air tertimbang (storage; Sr).

5.3.1 Infiltrasi kumulatif tertimbang ($F'(t)_{Cr}$)

Infiltrasi kumulatif tertimbang ($F'(t)_{Cr}$) untuk setiap macam penggunaan lahan merupakan angka hasil perkalian antara infiltrasi kumulatif hasil pemodelan ($F(t)_{model,Cr}$) dengan bobot luasnya (b_{Cr}) (Persamaan 8). Perhitungan infiltrasi kumulatif model untuk setiap jenis penggunaan lahan ($F(t)_{model,Cr}$) dilakukan dengan menggunakan Persamaan (4) dan Persamaan (5). Masukan untuk menghitung $F(t)_{model,Cr}$ adalah data variabel hujan riil (Tabel 1), serta data sifat fisik tanah pada setiap macam penggunaan lahan (Tabel 3).

$$F'(t)_{Cr} = F(t)_{model,Cr} \cdot b_{Cr} \quad (8)$$

5.3.2 Jumlah simpanan air tertimbang (Sr)

Sawah, kolam atau macam penggunaan lahan sejenisnya, berfungsi sebagai areal tampungan untuk penyimpanan air di permukaan lahan pada saat hujan (storage). Jumlah storage sama dengan jumlah hujan ($R(t)_r$; mm) dikalikan dengan luas areal tampungan. Secara proporsional, jumlah simpanan air dinyatakan dalam jumlah simpanan tertimbang (Sr).

$$Sr = R(t)_r \cdot b_{Cr} \quad (9)$$

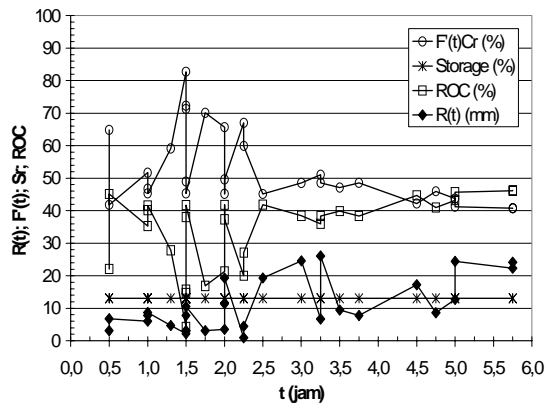
5.3.3 Limpasan hujan cekungan (ROC)

Limpasan hujan cekungan (ROC) untuk durasi hujan (t) dan probabilitas (p) kejadian hujan, dihitung berdasarkan persamaan (10).

$$ROC = R(t)_r - (\sum(F'(t)_{Cr}) + Sr) \quad (10)$$

Tabel 4 menyajikan hasil perhitungan ROC bersamasama dengan parameter jumlah hujan; $\sum(F'(t)_{Cr})$; dan Sr . Air hujan yang diterima permukaan lahan, terbagi habis menjadi air infiltrasi, storage, dan limpasan ($E_{to} = 0$) (Gambar 5). Komponen lain, seperti intersepsi oleh tajuk tanaman, dan tampungan air dalam ledok (tampungan kecil) atau cebakan di permukaan tanah akan dihitung kemudian.

Komponen storage mempunyai persentase yang tetap terhadap air hujan, setidaknya sampai dengan hujan maksimum yang tercatat dalam kurun waktu penelitian. Komponen ROC memperlihatkan peningkatan yang kontinyu dengan bertambahnya jumlah hujan. Kondisi ini berbanding terbalik dengan jumlah infiltrasi kumulatif tertimbang. ROC akan bertambah manakala $\sum F'R(t)$ berkurang.



Gambar 5. Proporsi infiltrasi kumulatif tertimbang ($F(t)$), storage (S_r), dan limpasan hujan cekungan (ROC) dan ketebalan hujan ($R(t)$) untuk Cekungan Kecil Cikumutuk

5.4 Koefisien limpasan hujan cekungan

5.4.1 Koefisien limpasan hujan cekungan riil (C)

Nilai C merupakan suatu koefisien yang menjelaskan berapa besar ROC yang riil menjadi limpasan hujan ($RO_{empirik}$). Nilai C ini diperoleh dengan membagi $RO_{empirik}$ dengan ROC (**Persamaan (10)**).

$$C = \frac{RO_{empirik}}{ROC} \quad (10)$$

ROC , $RO_{empirik}$, dan hasil perhitungan C , bersamasama dengan $R(t)$ (mm), dan t (jam) disajikan pada **Tabel 4**. Terdapat kecenderungan hubungan yang cukup nyata antara jumlah hujan ($R(t)_r$) dengan koefisien limpasan hujan cekungan riil (C). Nilai C semakin tinggi dengan bertambahnya jumlah hujan (**Gambar 6**).

Antara $R(t)_r$ dengan C mempunyai hubungan regresi logaritmik (**Persamaan (11)**). Persamaan tersebut mempunyai koefisien determinasi (R^2) 0,87 dan nilai korelasi (r) sebesar 0,93.

$$C = 0,168Ln(R(t)_r) + 0,06 \quad (11)$$

5.4.2 Koefisien limpasan cekungan model (C_M)

Persamaan (11) menunjukkan hubungan fungsional logaritmik antara $R(t)_r$ dengan C . Menurut **Persamaan (2)**, $R(t)_r$ merupakan :

$$R(t)_{t,p} = (9,16 + 6,61.t)e^{-t} \quad (12)$$

Substitusi **Persamaan (12)** ke dalam **Persamaan (11)**, diperoleh formula koefisien limpasan cekungan model (C_M) sebagai fungsi dari lama hujan (t ; jam) dan probabilitas kejadian hujan (p ; %) (**Persamaan (13)**).

$$C_M = 0,168Ln(H) - 0,0063.p + 0,06 \quad (13)$$

dengan $H = (9,16 + 6,61.t)$

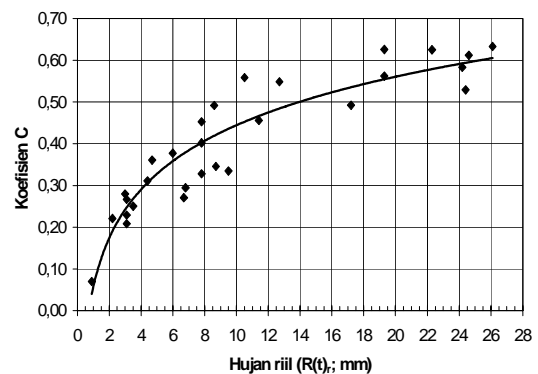
Koefisien C_M menunjukkan limpasan hujan hasil perhitungan (ROC), yang riil terukur pada outlet cekungan kecil sebagai limpasan hujan langsung (*direct run off*).

Sisanya, yaitu $(1 - C_M)$, jika $E_{to} = 0$, adalah bentuk-bentuk simpanan air dalam kawasan cekungan kecil yang belum terpilah satu dengan lainnya. Bentuk-bentuk simpanan tersebut, yaitu :

- 1) Intersepsi oleh tumbuhan, baik tajuk tanaman tinggi, tanaman semusim, semak, maupun rumput.
- 2) Tertahan oleh ledok, atau tampungan kecil di permukaan lahan atau akibat pengolahan tanah pada lahan pertanian.
- 3) Teknik konservasi dalam bentuk bak penampung air, rorak (*soak way*), dan sumur resapan (*soak well*).

Persamaan (13) dan **Gambar 6**, menunjukkan bahwa pada semua kejadian hujan, koefisien C_M bertambah dengan bertambahnya ketebalan hujan, sebagai fungsi dari t dan p . Pertambahan ini mengindikasikan bahwa:

- i) Pada ketebalan hujan rendah (< 4 mm), koefisien limpasan cekungan (koefisien C_M) adalah kecil (< 0.30), atau hanya sebagian kecil ROC (30 %) yang terukur menjadi $RO_{empirik}$. Artinya, sebagian besar ROC (≥ 70 %) tertahan oleh cekungan kecil dan hanya sebagian kecil yang menjadi limpasan hujan riil ($RO_{empirik}$).
- ii) Pada ketebalan hujan lebih besar ($> 6 - 24$ mm), koefisien C_M mempunyai nilai lebih tinggi ($\geq 0.30 - 0.60$). Artinya ROC semakin mendekati nilai $RO_{empirik}$. Hal ini terjadi karena bentuk-bentuk simpanan air di cekungan kecil semakin mendekati optimum.
- iii) Nilai koefisien C_M setelah mencapai hujan tertentu (> 24 mm) menuju konstan. Dalam kondisi ini bentuk-bentuk simpanan air di cekungan kecil telah mencapai optimum. Angka simpanan ini, paling tinggi sekitar 40 % dari ROC .



Gambar 6. Grafik hubungan antara hujan riil ($R(t)_r$; mm) dengan koefisien limpasan cekungan kecil (C)

Tabel 3. Sifat-sifat tanah pada masing-masing penggunaan lahan di cekungan kecil Cikumutuk

No	Jenis Penggunaan Lahan	2 (%)	0 (%)	0c (%)	0l (%)	l2
1	Kebun Campuran (Agroforestri)	41.63	60.94	14.52	5.03	0.1931
2	Ladang/Tegalan (palawija)	42.88	60.69	13.4	5.01	0.1781
3	Alang-alang/semak (Tidak digarap)	43.73	58.73	11.71	4.89	0.1500
4	Hutan (Kayu campuran)	45.13	58.39	11.51	4.96	0.1326
5	Pemukiman	45.17	58.79	11.07	4.96	0.1362

Tabel 4. Proporsi $F'(t)_{Cr}$, S_r , dan ROC menurut ketebalan hujan cekungan kecil Cikumutuk

No.	Variabel hujan			Proporsi air hujan (mm)			Persentase dari $R(t)r$ (%)		
	t (jam)	p (%)	$R(t)r$ (mm)	$F'(t)_{Cr}$	S_r	ROC	$F'(t)_{Cr}$	S_r	ROC
1	2,25	87,59	0,90	0,60	0,12	0,18	67,01	13,03	19,96
2	1,50	57,60	2,20	1,82	0,29	0,09	82,72	13,03	4,25
3	1,75	50,67	3,10	2,17	0,40	0,52	70,10	13,03	16,88
4	2,00	49,48	3,50	2,30	0,46	0,74	65,71	13,03	21,26
5	1,50	49,33	3,00	2,17	0,39	0,44	72,29	13,03	14,68
6	1,50	48,45	3,10	2,21	0,40	0,49	71,26	13,03	15,71
7	2,25	45,27	4,40	2,64	0,57	1,19	59,90	13,03	27,07
8	4,75	41,36	8,60	3,95	1,12	3,53	45,97	13,03	41,00
9	3,25	40,54	6,70	3,42	0,87	2,41	51,06	13,03	35,91
10	3,75	39,22	7,80	3,79	1,02	2,99	48,60	13,03	38,37
11	0,50	37,11	3,10	2,01	0,40	0,68	64,90	13,03	22,08
12	1,30	35,44	4,70	2,78	0,61	1,31	59,14	13,03	27,83
13	3,50	32,63	9,50	4,47	1,24	3,79	47,08	13,03	39,89
14	5,00	32,03	12,70	5,55	1,65	5,49	43,71	13,03	43,26
15	1,00	25,77	6,00	3,10	0,78	2,12	51,69	13,03	35,28
16	1,50	23,85	7,80	3,82	1,02	2,96	48,97	13,03	38,00
17	4,50	21,77	17,20	7,26	2,24	7,70	42,23	13,03	44,74
18	5,75	19,98	22,30	9,11	2,91	10,29	40,83	13,03	46,14
19	1,00	18,77	7,80	3,65	1,02	3,14	46,76	13,03	40,21
20	2,00	17,99	11,40	5,15	1,49	4,77	45,15	13,03	41,82
21	5,75	17,80	24,20	9,85	3,15	11,20	40,69	13,03	46,28
22	0,50	16,16	6,80	2,84	0,89	3,07	41,83	13,03	45,14
23	1,50	15,92	10,50	4,75	1,37	4,38	45,28	13,03	41,70
24	1,00	15,86	8,70	3,94	1,13	3,63	45,29	13,03	41,69
25	5,00	14,62	24,40	10,06	3,18	11,16	41,21	13,03	45,76
26	2,50	7,62	19,30	8,70	2,51	8,08	45,10	13,03	41,87
27	3,00	4,38	24,60	11,94	3,20	9,45	48,54	13,03	38,43
28	3,25	4,28	26,10	12,68	3,40	10,02	48,59	13,03	38,39
29	2,00	3,95	19,30	9,57	2,51	7,21	49,61	13,03	37,36

Tabel 5. Jumlah ROC, RO_{empirik}, dan C menurut hujan riil cekungan kecil Cikumutuk

No	t (jam)	p (%)	R(t) (mm)	ROC (mm)	RO _{empirik} (mm)	C
1	1,50	49,33	3,00	0,44	0,1232	0,2798
2	1,50	57,60	2,20	0,09	0,0206	0,2206
3	1,75	50,67	3,10	0,52	0,1198	0,2290
4	2,00	49,48	3,50	0,74	0,1861	0,2501
5	5,75	17,80	24,20	11,20	6,5383	0,5838
6	2,00	17,99	11,40	4,77	2,1735	0,4559
7	4,75	41,36	8,60	3,53	1,7338	0,4917
8	1,50	48,45	3,10	0,49	0,1014	0,2082
9	3,25	4,28	26,10	10,02	6,3445	0,6333
10	3,00	4,38	24,60	9,45	5,7891	0,6123
11	1,30	35,44	4,70	1,31	0,4721	0,3609
12	2,25	87,59	0,90	0,18	0,0125	0,0698
13	2,25	45,27	4,40	1,19	0,3701	0,3107
14	3,25	40,54	6,70	2,41	0,6514	0,2708
15	2,00	3,95	19,30	7,21	4,0543	0,5622
16	0,50	37,11	3,10	0,68	0,1825	0,2667
17	1,00	18,77	7,80	3,14	1,4190	0,4525
18	5,00	14,62	24,40	11,16	5,9100	0,5293
19	5,00	32,03	12,70	5,49	3,0161	0,5489
20	3,50	32,63	9,50	3,79	1,2679	0,3346
21	5,75	19,98	22,30	10,29	6,4345	0,6254
22	1,00	25,77	6,00	2,12	0,7999	0,3778
23	4,50	21,77	17,20	7,70	3,7901	0,4925
24	3,75	39,22	7,80	2,99	0,9817	0,3280
25	0,50	16,16	6,80	3,07	0,9042	0,2946
26	1,50	15,92	10,50	4,38	2,4452	0,5585
27	2,50	7,62	19,30	8,08	5,0617	0,6264
28	1,00	15,86	8,70	3,63	1,2531	0,3455
29	1,50	23,85	7,80	2,96	1,1920	0,4021

6. Kesimpulan

1. Koefisien limpasan hujan (C) untuk Cekungan Kecil Cikumutuk merupakan fungsi linier dari nilai Ln ketebalan hujan ($R(t)_r$). Nilai gradient Ln $R(t)_r$ bernilai positif (0,168).
2. Koefisien C model (C_M) menunjukkan proporsi limpasan hujan model (ROC), yang riil terukur pada outlet cekungan kecil atau $RO_{empirik}$. C_M merupakan fungsi linier ganda dari Ln H dan probabilitas hujan (p). Gradient H adalah positif (0,168) dan gradient p adalah negatif (-0,0063). H merupakan fungsi linier dari durasi hujan (t) dengan gradient bernilai positif.
3. Pada ketebalan hujan rendah (< 4 mm), nilai C_M adalah kecil (< 0.30), atau hanya sebagian kecil ROC (30 %) yang riil menjadi $RO_{empirik}$, sebagian besar (≥ 70 %) tertahan oleh cekungan kecil.
4. Pada ketebalan hujan lebih besar (> 6 - 24 mm), C_M mempunyai nilai lebih tinggi ($\geq 0.30 - 0.60$). Artinya ROC semakin mendekati nilai $RO_{empirik}$. Dalam kondisi ini simpanan air di cekungan kecil mendekati optimum.
5. Nilai koefisien C_M pada hujan > 24 mm cenderung menuju konstan. Dalam kondisi ini bentuk-bentuk simpanan air di cekungan kecil hampir optimum.
6. Nilai $(1-C_M)$ menunjukkan proporsi ROC yang tersimpan pada cekungan kecil dalam bentuk intersepsi tumbuhan; tertahan oleh ledok, tampungan kecil, atau reservoir-reservoir buatan, baik di permukaan maupun di dalam tanah. Simpanan ini, sekitar 40 % dari ROC.

Daftar Pustaka

- Dede, R., Soekarno, I., 2004, "Pendugaan Limpasan Hujan pada Cekungan Kecil Melalui Pengembangan Persamaan Infiltrasi Kolom Tanah (Kasus di Cekungan Kecil Cikumutuk DAS Cimanuk Hulu); Makalah PIT HATHI XXI, Sept.-Okt. 2004, Denpasar-Bali.
- Dede, R., 2005, "Model Infiltrasi Kolom Tanah untuk Menduga Limpasan Hujan pada Cekungan Kecil di DAS Bagian Hulu (Kasus Cekungan Kecil Cikumutuk DAS Cimanuk Hulu)", Disertasi Doktor, Teknik Sipil, FTSP, ITB.
- Departemen Kehutanan, 1985, dalam Puslittanak, 1997, "Statistik Sumber Daya Lahan/Tanah Indonesia", Balitbang Pertanian, Departemen Pertanian; 29.
- Isa, D., 1990, "Klasifikasi Tanah", Gadjah Mada University Press. Yogyakarta; 295-319.

Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Puslittanak, 1997, "Statistik Sumber Daya Lahan/Tanah Indonesia", Balitbang Pertanian, Departemen Pertanian; 32.

Purwanto, E., 1999, "Erosion, Sediment Delivery and Soil Conservation in an Upland Agricultural Catchment in West Java, Indonesia; A Hydrological Approach in A Socio-Economic Context", Academisch Proefschrift, Vrije Universiteit te Amsterdam.

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.

World Bank, 1993, in Purwanto, E., 1999. "Erosion, Sediment Delivery and Soil Conservation in An Upland Agricultural Catchment in West Java, Indonesia; A Hydrological Approach in A Socio-Economic Context", Academisch Proefschrift, Vrije Univ. Amsterdam.

Notasi

DAS	Daerah Aliran Sungai
b_{Cr}	Bobot luas macam penggunaan
C	Koefisien limpasan cekungan riil
C_M	Koefisien limpasan cekungan model
$\Delta\theta$	Pertambahan kandungan air
$F'(t)_{Cr}$	Infiltrasi kumulatif tertimbang
$\sum F'(t)_{Cr}$	Jumlah infiltrasi kumulatif tertimbang
$f(t)$	Laju infiltrasi
F(t)	Infiltrasi kumulatif
I(t)	Intensitas hujan
η	Porositas total
η_c	Pori drainase cepat
η_l	Pori drainase lambat
p	Probabilitas kejadian hujan (%)
ψ	Suction head.
Q	Debit sungai.
ROC	Limpasan hujan cekungan
$RO_{empirik}$	Limpasan hujan hasil pengukuran
R(t)	Ketebalan hujan
Sr	Simpanan air hujan tertimbang
t	Durasi hujan
θ	Kandungan air
v	Kecepatan arus sungai