

ANALISIS NILAI KORELASI DEBIT LIMPASAN LANGSUNG METODE INFIL TERHADAP DEBIT LIMPASAN LANGSUNG TERUKUR

Roby Hambali

Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Universitas Bangka Belitung
Kampus Terpadu UBB Balunujuk, Merawang, Kab. Bangka

email: rhobee04@yahoo.com

ABSTRAK

Aliran di sungai dalam bentuk hidrograf dapat disederhanakan menjadi dua komponen, yaitu aliran dasar dan aliran permukaan (limpasan langsung). Debit limpasan langsung (*direct runoff*) merupakan akumulasi dari bagian hujan yang jatuh ke permukaan tanah dan tidak terinfiltrasi (hujan efektif) dalam satu cakupan luas DAS persatuan waktu. Analisis debit limpasan langsung sangat penting untuk perhitungan debit (hidrograf) banjir suatu sungai. Oleh karena limpasan langsung terjadi akibat hujan efektif, maka pemilihan metode yang tepat dalam perhitungan hujan efektif menjadi sangat penting. Salah satu metode yang pernah digunakan adalah metode *SCS CN*. Cara ini dianggap kurang baik karena nilai *CN* bervariasi terhadap kelembaban tanah serta peningkatan laju curah hujan menyebabkan kenaikan laju infiltrasi secara linier, padahal secara prinsip tidak terdapat hubungan yang linier antara hujan dan infiltrasi. Salah satu metode yang dianggap baik adalah metode *INFIL* yang menggunakan hubungan antara nilai *CN* dan parameter infiltrasi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi hidrograf limpasan langsung hasil hitungan berdasarkan hujan efektif metode *INFIL* terhadap hidrograf limpasan langsung terukur pada DAS Bedog. Analisis statistik (nilai korelasi) digunakan untuk mengevaluasi metode yang digunakan. Berdasarkan hasil analisis terhadap 12 data banjir terpilih, hidrograf limpasan langsung hasil hitungan berdasarkan hujan efektif metode *INFIL* menunjukkan korelasi yang tinggi terhadap hidrograf limpasan langsung terukur, yaitu rata-rata sebesar 0,91.

Kata Kunci: Hujan efektif, limpasan langsung, nilai korelasi

PENDAHULUAN

Dalam analisis debit banjir rancangan, komponen penting yang perlu diperhitungkan adalah besarnya limpasan langsung. Debit limpasan langsung (*direct runoff*) merupakan akumulasi dari bagian hujan yang jatuh ke permukaan tanah dan tidak terinfiltrasi (hujan efektif) dalam satu cakupan luas DAS persatuan waktu. Metode *SCS CN* telah banyak digunakan dalam analisis hujan efektif dengan segala persoalan atau kelemahannya. Permasalahan dasar dalam aplikasi metode *SCS CN* adalah pengaruh dari tingkat

kebasahan (*wetness*) lahan terhadap nilai *CN*. Nilai *CN* bervariasi terhadap kelembaban tanah dan lahan. Persoalan lain muncul apabila kederasan hujan (*rainfall rate*) bervariasi terhadap waktu. Secara fisik, penambahan tingkat kederasan hujan, menyebabkan penambahan tingkat infiltrasi secara linier, sedangkan secara prinsip tidak terdapat hubungan yang linier antara hujan dan infiltrasi. Oleh karena itu, Morel-Seytoux & Verdin (1981) mengembangkan pendekatan infiltrasi menggunakan hubungan antara nilai *CN* dan parameter infiltrasi seperti *hydraulic conductivity* dan

sorptivity yang disebut dengan metode *INFIL* (Kovar, 1990).

Tujuan penelitian ini adalah menghitung dan menganalisis nilai korelasi antara debit limpasan langsung yang dihitung berdasarkan hujan efektif metode *INFIL* terhadap debit limpasan langsung terukur.

TINJAUAN PUSTAKA

Hujan Efektif Metode *INFIL*

Aplikasi dari metode *INFIL* didasarkan pada teori infiltrasi metode Philip. Infiltrasi dihitung menggunakan hubungan antara nilai *CN* dan parameter infiltrasi, seperti hydraulic conductivity (K_p) dan *sorptivity*, (S_p) (Kovar, 1990). Persamaan umum dalam perhitungan infiltrasi kumulatif dijelaskan oleh Tarboton (2003) pada Persamaan (1).

$$F(t) = S_p t^{1/2} + K_p t \quad (1)$$

dengan:

S_p : *sorptivity*, fungsi dari daya hisap potensial tanah ($\text{mm}/\text{jam}^{0.5}$),
 K_p : *hydraulic conductivity* (mm/jam),
 t : waktu (jam)

Persamaan untuk menghitung kapasitas infiltrasi (f_c) adalah:

$$f_c(F) = K_p + \frac{K_p S_p}{\sqrt{S_p^2 + 4K_p F - S_p}} \quad (2)$$

Secara matematis, infiltrasi kumulatif metode Philip pada saat ponding dituliskan pada Persamaan (3) berikut ini.

$$F_p = \frac{S_p^2 (w - K_p / 2)}{2(w - K_p)^2} \quad (3)$$

Dari persamaan (1), t_o diselesaikan dengan Persamaan (4).

$$t_o = t_s - \frac{1}{4K_p^2} \left(\sqrt{S_p^2 + 4K_p F_s - S_p} \right)^2 \quad (4)$$

dengan:

t_o : waktu semula setelah *ponding* (jam)
 t_s : *initial time* pada kondisi *ponding* (jam)
 F_s : infiltrasi kumulatif awal kondisi *ponding* (mm)

Infiltrasi kumulatif pada waktu sembarang t ($t > t_s$) dapat diperoleh dari persamaan (5) berikut ini.

$$F = S_p (t - t_o)^{1/2} + K_p (t - t_o) \quad (5)$$

Hubungan antara nilai *CN* dan parameter tanah K_s dan S_p secara matematis dikemukakan oleh Kovar (1990) sebagai berikut:

Saturated hydraulic conductivity, K_s (mm/jam).

jika $CN_A > 75$,

$$K_s = \frac{100 - CN_A}{12.42} \quad (6)$$

jika $36 < CN_A < 75$,

$$K_s = 31.39 - 0.39 CN_A \quad (7)$$

jika $CN_A \leq 36$,

$$K_s = 47.07 - 0.82 CN_A \quad (8)$$

Sorptivity, S_p ($\text{mm}/\text{jam}^{0.5}$), untuk kondisi kapasitas lapangan,

jika $CN_A > 65$,

$$S_p = \frac{100 - CN_A}{1.66} \quad (9)$$

jika $CN_A < 65$

$$S_p = 30.25 - 0.146 CN_A \quad (10)$$

dengan:

CN_A : nilai *curve number* aktual

Curve number aktual (CN_A) dapat ditentukan berdasarkan persamaan berikut:

$$CN_A = \frac{30480}{\frac{30480}{CN_S} - (API_5 - 5 DEP - Q_T)} \quad (11)$$

dengan:

- CN_S : seasonal curve number,
 API_5 : 5 day antecedent precipitation index (mm),
 DEP : koefisien deplesi harian (mm/hari),
 P_T : hujan 5 hari sebelumnya (5 day antecedent precipitation) (mm),
 C : konstanta evapotranspirasi ($C = 0,93$),
 AVP : kedalaman hujan rerata tahunan (mm),
 AVQ : kedalaman runoff tahunan (mm),
 Q_T : runoff 5 hari sebelumnya (5 day antecedent runoff) (mm),
 S_S : seasonal storage (mm).

Limpasan Langsung

Limpasan langsung (*direct runoff*) merupakan aliran debit akibat hujan efektif merata di seluruh DAS dengan intensitas tetap dengan durasi dan kedalaman tertentu (Jayadi, 2005). Dengan pengertian tersebut, maka dapat diartikan bahwa volume limpasan langsung sama dengan volume hujan efektif. Secara matematis, dapat ditulis sebagai berikut:

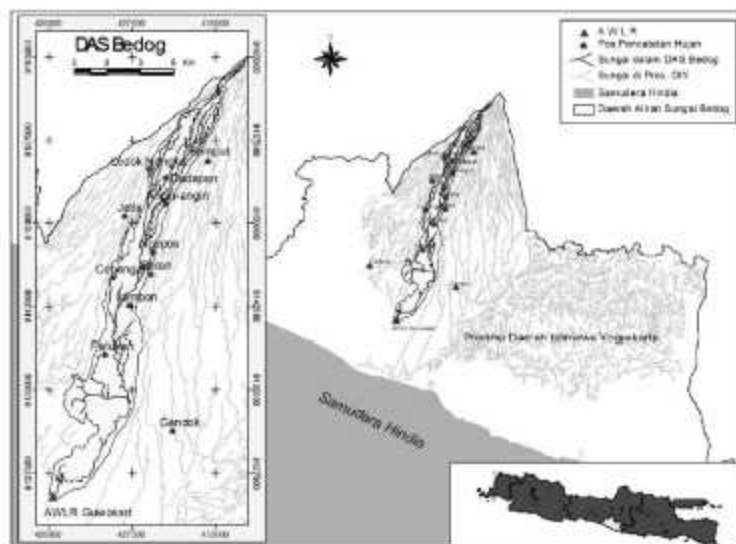
$$\sum Q_{LL} = \sum P_e \cdot A \quad (12)$$

dengan:

- Q_{LL} : debit limpasan langsung (m^3/det),
 P_e : hujan efektif (mm),
 A : luas DAS (km^2).

METODE PENELITIAN

Penelitian yang dilakukan mengambil wilayah studi di DAS Bedog di Guwosari Daerah Istimewa Yogyakarta (lihat Gambar 1).



Gambar 1. Peta wilayah studi (DAS Bedog)

Ketersediaan Data

Data hujan otomatis dan data AWLR yang tersedia sebagai masukan utama dalam perhitungan hujan efektif terdiri dari 12 kejadian hujan tahun 2002 dan 2006 (Tabel 1). Stasiun AWLR yang digunakan dalam penelitian ini adalah stasiun AWLR Guwosari. Adapun persamaan rating curve di AWLR Guwosari adalah sebagai berikut:

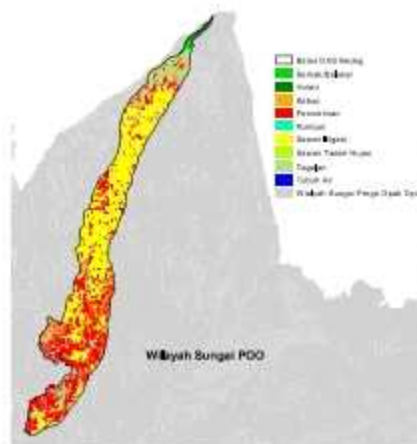
$$Q = 3.637 H^{3.7109} \quad (\text{tahun } 2002),$$

$$Q = 3.4813 H^{3.7812} \quad (\text{tahun } 2006).$$

Peta tataguna lahan (Gambar 2a dan Gambar 2b), peta jenis tanah (Gambar 3) dan peta kerapatan tutupan vegetasi (Gambar 4) digunakan untuk menentukan nilai CN.

Tabel 1. Data Kejadian banjir DAS Bedog

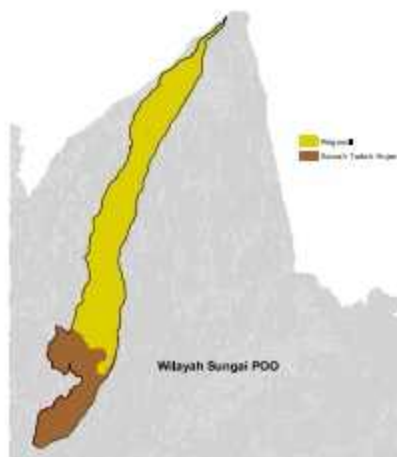
No	Kejadian	Lama Hujan (jam)	No	Kejadian	Lama Hujan (jam)
1	22 Januari 2002	9.00	7	5 Februari 2006	2.00
2	6 Februari 2002	3.00	8	5 April 2006	5.00
3	14 Februari 2002	7.00	9	13 April 2006	5.00
4	20 Februari 2002	8.00	10	21 April 2006	6.00
5	20 Maret 2002	8.00	11	20 Desember 2006	5.00
6	4 Februari 2006	8.00	12	29 Desember 2006	7.00



Gambar 2a. Peta tataguna lahan DAS Bedog (AWLR Guwosari) tahun 2002



Gambar 2b. Peta tataguna lahan DAS Bedog (AWLR Guwosari) tahun 2006



Gambar 3. Peta jenis tanah DAS Bedog (AWLR Guwosari)



Gambar 4. Peta kerapatan tutupan vegetasi DAS Bedog (AWLR Guwosari)

Analisis Hujan Efektif

Untuk analisis hujan efektif metode INFIL, masukan yang dibutuhkan berupa hujan jam-jaman dan parameter infiltrasi (K_f dan S_p) dari hubungan nilai CN . Langkah-langkah dalam perhitungan hujan efektif metode *INFIL* disajikan dalam bagan alir pada Gambar 5.

Evaluasi Ketelitian Model

Evaluasi ketelitian model diukur dengan nilai korelasi antara debit limpasan langsung yang dihitung berdasarkan hujan efektif metode *INFIL* terhadap debit limpasan langsung terukur. Model dapat dikatakan teliti jika terdapat nilai korelasi yang tinggi antara data hasil simulasi dan terukur.

Koefisien korelasi (R) adalah harga yang menunjukkan besarnya keterkaitan antara nilai observasi dengan nilai simulasi.

Jika harga koefisien korelasi 0,7 hingga 1,0 menunjukkan derajat asosiasi yang tinggi, koefisien korelasi lebih tinggi dari 0,4 menunjukkan hubungan substansial, koefisien antara 0,2 hingga 0,4 menunjukkan adanya korelasi rendah, dan apabila kurang dari 0,2 dapat diabaikan (Young, 1982 dalam Djarwanto dan Subagyo, 1993). Koefisien korelasi (R) dirumuskan sebagai berikut (Soewarno, 1995).

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{cal,i} \times Q_{obs,i})}{\sigma_{cal} \times \sigma_{obs} \times (N-1)} \quad (13)$$

$$\sigma_{cal} = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (Q_{cal,i} - Q_{cal, rata-rata})^2}{N-1} \right]^{1/2} \quad (14)$$

$$\sigma_{obs} = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (Qobs_i - Qobs_{rata})^2}{N-1} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (15)$$

$$Qcal_{rata} = \frac{\sum_{i=1}^N Qcal_i}{N} \quad (16)$$

$$Qobs_{rata} = \frac{\sum_{i=1}^N Qobs_i}{N} \quad (17)$$

dengan:

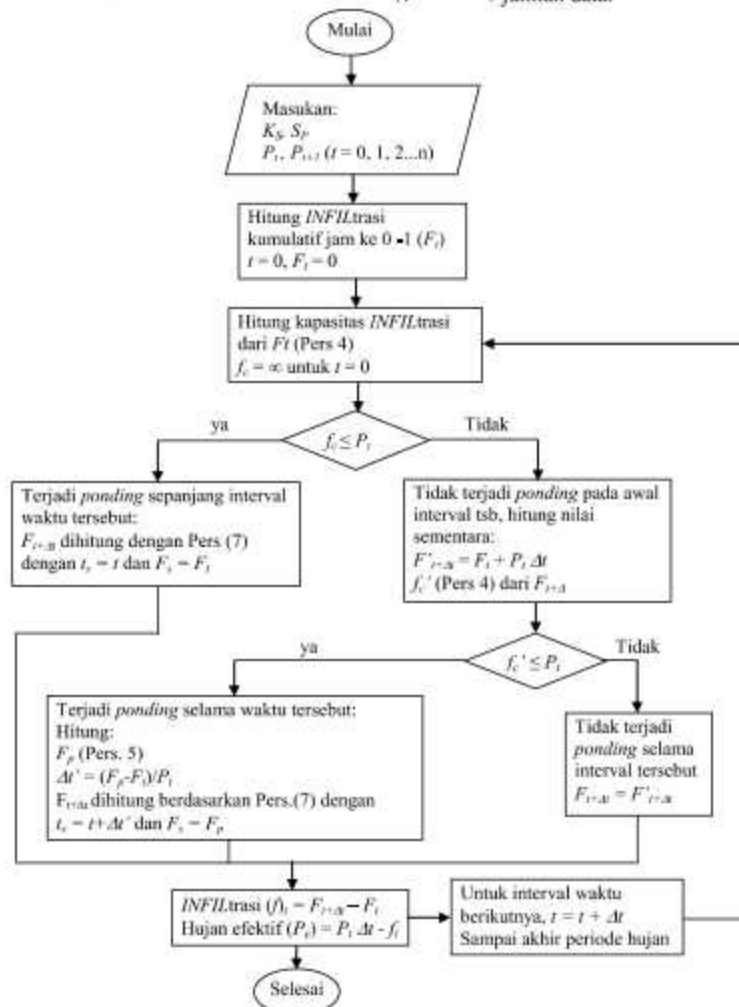
$Qobs_i$: debit terukur (m^3/s),

$Qcal_i$: debit terhitung (m^3/s),

$Qobs_{rata}$: debit terukur rerata (m^3/s),

$Qcal_{rata}$: debit terhitung rerata (m^3/s),

N : jumlah data.



Gambar 5. Bagan alir perhitungan hujan efektif metode INFIL

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hujan Efektif Metode *INFIL*

Dalam perhitungan hujan efektif metode *INFIL*, parameter pertama yang harus ditentukan adalah nilai K_s dan S_p , dimana nilai tersebut sangat tergantung pada nilai CN . Dalam penetapan nilai K_s dan S_p , nilai CN yang digunakan adalah CN_{aktual} , dimana nilai ini dipengaruhi oleh banyak faktor, antara lain API_s , DEP serta Q_r . Sebagai contoh, parameter model *INFIL* hasil analisis data banjir 22 Januari 2002 disajikan pada Tabel 2, sedangkan Tabel 3 adalah hitungan hujan efektifnya.

Tabel 3 menunjukkan bahwa limpasan yang terjadi sangat dipengaruhi oleh waktu terjadinya ponding. Setelah ponding terjadi, kapasitas infiltrasi menunjukkan nilai yang relatif konstan, artinya tanah sudah berada dalam keadaan jenuh. Jika hujan yang

terjadi lebih besar dari kapasitas infiltrasi tersebut, maka sebagian hujan akan menjadi limpasan langsung.

Tabel 2. Parameter model *INFIL* banjir 22 Januari 2002

Parameter	Simbol	Satuan	Nilai
5 day Antecedent Precipitation	P_T	mm	57.58
Curve Number	CN	-	77.12
Retensi Potensial Maksimum	S	mm	75.36
Initial Abstraction	I_a	mm	15.07
Julian Date	JD		22.00
Seasonal Storage	S_s	mm	49.67
Seasonal Curve Number	CN_s		83.64
Antecedent Precipitation Index	API_s		50.81
Daily Depletion Coefficient	DEP	mm/hari	2.94
5 day Antecedent Runoff	Q_r	mm	23.33
Actual Curve Number	CN_A		86.68
Hydraulic Conductivity	K_s	mm/jam	1.07
Sorptivity	S_p	mm/jam ^{0.5}	8.02

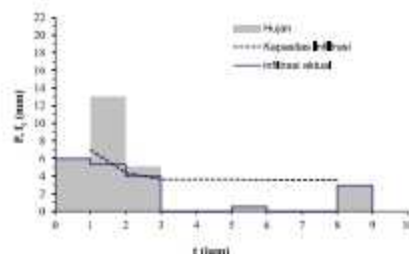
Tabel 3. Perhitungan hujan efektif metode *INFIL* kasus banjir 22 Januari 2002

t (jam)	P_t (mm)	F_t (mm)	f_t (mm/jam)	F^* (mm)	f_t^* (mm/jam)	F_p or F_s (mm)	ΔF (jam)	I_a (jam)	I_h (jam)	F_{t-A} (mm)	I (mm)	P_s (mm)
0.00		5.970	0.000	∞	5.970	6.957				5.970	5.970	0.000
1.00	13.033	5.970	6.957			5.970	0.000	1.000	0.535	11.284	5.314	7.720
2.00	5.103	11.284	4.388			11.284	0.000	2.000	0.535	15.243	3.959	1.144
3.00	0.000	15.243	3.628	15.243	3.628					15.243	0.000	0.000
4.00	0.000	15.243	3.628	15.243	3.628					15.243	0.000	0.000
5.00	0.527	15.243	3.628	15.770	3.555					15.770	0.527	0.000
6.00	0.000	15.770	3.555	15.770	3.555					15.770	0.000	0.000
7.00	0.000	15.770	3.555	15.770	3.555					15.770	0.000	0.000
8.00	2.953	15.77	3.555	18.723	3.222					18.723	2.953	0.000
9.00												

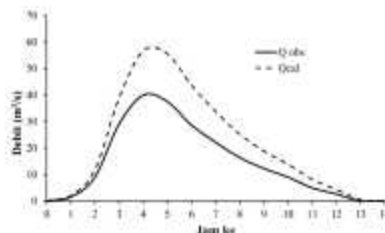
Analisis Limpasan Langsung

Limpasan langsung terukur didapat dari rekaman data AWLR berupa tinggi muka air yang kemudian ditransformasi menjadi hidrograf debit limpasan langsung berdasarkan persamaan *rating curve*.

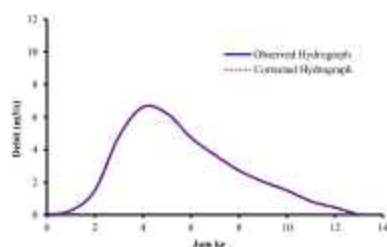
Sedangkan limpasan langsung terhitung didapat berdasarkan hasil perkalian antara hujan efektif dengan hidrograf satuan pada lokasi dan kasus banjir yang sama. Hidrograf satuan diturunkan dengan metode Collins. Gambar 7 menunjukkan hidrograf satuan kasus banjir 22 Januari 2002 hasil analisis dengan metode Collins.



Gambar 6. Grafik hasil hitungan hujan efektif metode *INFIL* (22 Januari 2002)

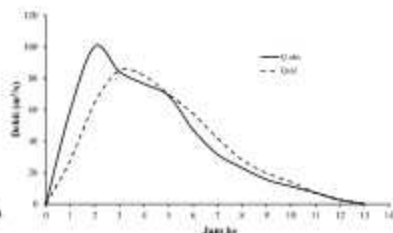


Gambar 8a. Komparasi hidrograf limpasan langsung kasus banjir 22 Januari 2002

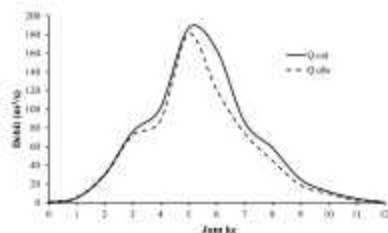


Gambar 7. Hidrograf satuan DAS Bedog (kasus banjir 22 Januari 2002)

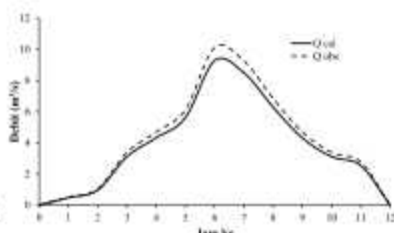
Hasil analisis dari 12 kasus banjir tahun 2002 dan 2006 di DAS Bedog menunjukkan bahwa hidrograf limpasan langsung terhitung memiliki korelasi rata-rata yang cukup tinggi, yaitu 0,91. Sebagai ilustrasi komparasi hidrograf limpasan langsung terhitung terhadap hidrograf limpasan langsung terukur, diberikan Gambar 8a – Gambar 8d masing-masing dua kasus banjir tahun 2002 dan dua kasus banjir tahun 2006. Rekapitulasi nilai korelasi untuk seluruh kasus banjir yang diteliti disajikan pada Tabel 4.



Gambar 8b. Komparasi hidrograf limpasan langsung kasus banjir 6 Februari 2002



Gambar 8c. Komparasi hidrograf limpasan langsung kasus banjir 20 Desember 2006

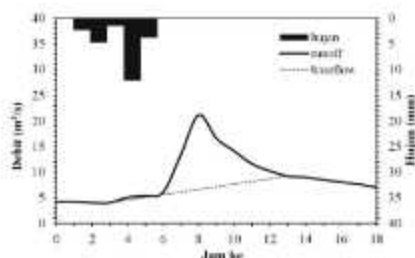


Gambar 8d. Komparasi hidrograf limpasan langsung kasus banjir 29 Desember 2006

Tabel 4. Nilai korelasi hidrograf limpasan langsung terhitung terhadap hidrograf limpasan langsung terukur

No	Kejadian	Nilai Korelasi
1	22 Januari 2002	1.00
2	6 Februari 2002	0.92
3	14 Februari 2002	1.00
4	20 Februari 2002	0.86
5	20 Maret 2002	0.96
6	4 Februari 2006	1.00
7	5 Februari 2006	1.00
8	5 April 2006	0.91
9	13 April 2006	0.45
10	21 April 2006	0.90
11	20 Desember 2006	0.99
12	29 Desember 2006	1.00
Rata-rata		0.91

Tabel 4 menunjukkan terdapat korelasi yang tinggi antara hidrograf limpasan langsung yang dihitung berdasarkan hujan efektif metode *INFIL* terhadap hidrograf limpasan langsung terukur, kecuali kasus banjir 13 April 2006. Hal ini disebabkan data hujan-aliran yang digunakan memang kurang baik (lihat Gambar 9).



Gambar 9. Data hujan-aliran kasus banjir 13 April 2006

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Hidrograf limpasan langsung 12 kasus banjir terpilih yang dihitung berdasarkan hujan efektif metode *INFIL* menunjukkan rata-rata korelasi yang tinggi terhadap hidrograf limpasan langsung terukur.
2. Untuk kasus banjir dengan data hujan-aliran yang kurang/tidak baik, maka akan menghasilkan hidrograf limpasan langsung dengan nilai korelasi yang rendah.

3. Penggunaan metode INFIL dalam perhitungan hujan efektif dalam analisis hidrograf limpasan langsung membutuhkan langkah yang cukup panjang dan parameter yang cukup banyak.

DAFTAR PUSTAKA

- Djarwanto, PS., Subagyo, P., 1993, *Statistik Induktif*, BPFE, Yogyakarta.
- Kovar P., 1990, *Aplication of Adapted Curve Number Model on the Sputka Basin*, Proceeding of the Strbske Pleso Workshop, Czechoslovakia, IAHS Publ. No. 190.
- Rachmad Jayadi, 2005, *Diklat Kuliah Basic Hydrology*, Magister Pengelolaan Bencana Alam Sekolah Pascasarjana Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Soewarno, 1995, *Hidrologi Aplikasi Metode Statistik Untuk Analisa Data*, Penerbit "NOVA", Bandung.
- Tarboton, D. G., 2003, *Rainfal-Runoff Processes, A workbook to accompany the Rainfall-Runoff Processes*, Web Module, Utah State University, <http://www.engineering.usu.edu/dtarb/rro.html> [diakses 23/06/2009].