

ANALISIS LIMPASAN PERMUKAAN DENGAN SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS UNTUK MENDUKUNG PENENTUAN INDIKATOR KUANTITATIF FUNGSI HIDROLOGI DAS CICATIH

Oleh :
Muh Taufik*

ABSTRACT

ANALYSIS OF SURFACE RUNOFF WITH GIS TO SUPPORT THE IDENTIFICATION OF HYDROLOGICAL FUNCTION INDICATOR OF CICATIH WATERSHED

The urban growth has proven gives a significant effect on the hydrological watershed function. Information about the impact on the water resource in such watershed could be spatially quantified using GIS tool. The response of Cicatih watershed in West Java to various scenarios was determined using SCS method. In the scenarios, the effect of an increase in settlement cover to surface runoff and water storage was examined. The results indicate that surface runoff increase to 79% and water storage decrease to 31 % due to settlement expansion.

Keywords: Surface runoff, SCS method, actual water storage, spatial distribution

ABSTRAK

Pertumbuhan daerah pemukiman telah memberikan efek signifikan terhadap fungsi hidrologi DAS. Dengan fasilitas SIG (Sistem Informasi Geografis), informasi dampak yang terjadi dapat dikuantifikasi secara spasial. Respon hidrologi DAS Cicatih di Sukabumi, Jawa Barat pada berbagai skenario dikuantifikasi dengan metode SCS *Curve number*. Pada skenario tersebut dihitung pengaruh ekspansi lahan pemukiman terhadap limpasan permukaan dan simpanan air aktual. Hasil simulasi menunjukkan limpasan permukaan meningkat hingga 79% dan simpanan air turun hingga 31%.

Kata kunci: limpasan permukaan, metode SCS, simpanan air aktual, distribusi spasial

1. Pendahuluan

Perubahan penutupan lahan memberikan respon hidrologis berupa terjadinya perubahan pada limpasan permukaan, erosi dan tingkat pengisian air bumi (Schulze 2000). Dalam skala lokal, perubahan penutupan lahan akan memberikan efek secara cepat terhadap hidrologi lokal (Hutjes *et al.* 2003) seperti; peningkatan pada limpasan permukaan (Dulbahri *et al.* 1995; Calder 1998), peningkatan erosi (Dulbahri *et al.* 1995; Sihite 2001). Sebagai indikator fisik DAS,

limpasan permukaan berpengaruh terhadap sedimentasi, kualitas air sungai dan debit sungai. Limpasan permukaan dipengaruhi oleh faktor urbanisasi (Weng 2001), kekasapan permukaan (Helming *et al.* 1998), reforestasi (Lukey *et al.* 2000), curah hujan (Putty dan Prasad 2000) dan persentase penutupan tajuk (Croke *et al.* 1999). Peningkatan pertumbuhan populasi yang diiringi pertumbuhan kawasan ekonomi dan industri telah menyebabkan tekanan yang berat terhadap sumber daya air. Dalam suatu DAS, kondisi ini akan berpengaruh terhadap fungsi hidrologi DAS. Pemodelan hidrologi dengan SIG (Sistem Informasi Geografis) dalam skala DAS mampu memberikan gambaran hidrologis tentang sumber daya air suatu DAS secara spasial dan temporal. Kajian ini akan fokus pada studi pengaruh pertumbuhan daerah pemukiman terhadap limpasan permukaan dan simpanan air aktual di DAS Cicatih Sukabumi dengan pendekatan SIG.

2. Metode Penelitian

2.1. Bahan dan Alat

DAS Cicatih seluas 53.000 ha terletak di Kab. Sukabumi Jawa Barat merupakan bagian hulu dari S. Cimandiri dengan koordinat geografis 6°42'54"-7°00'43" LS dan 106°39'8"-106°57'30" BT. Lokasi DAS di Jawa Barat disajikan pada Gambar 1. Deskripsi

*) Laboratorium Hidrometeorologi, Departemen Geofisika dan Meteorologi FMIPA IPB

biofisik DAS dijelaskan secara lengkap oleh Pawitan (2004) sedangkan deskripsi sosio-ekonomi dalam Pawitan (2006). Penelitian ini menggunakan program aplikasi SIG yaitu ArcView 3.3 dan PCRaster language program untuk pengolahan data spasial.



Gambar 1. Peta lokasi DAS Cicatih di Kab. Sukabumi, Jawa Barat

2.2. Metode

Metode SCS digunakan untuk menentukan besar limpasan permukaan. Persamaan matematis model tersebut yaitu:

$$Q = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S}, \text{ dimana } S = \frac{25.400}{CN} - 254$$

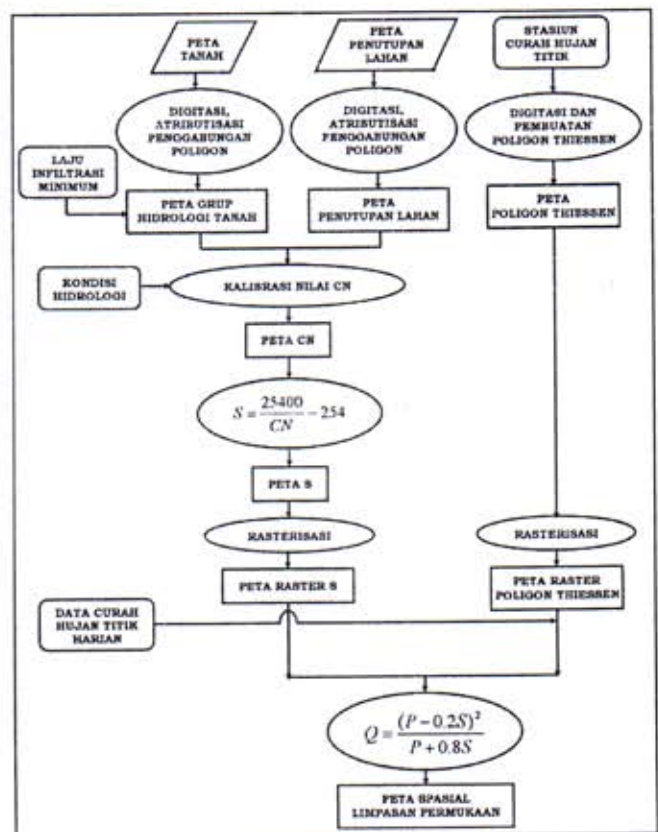
Dimana Q menyatakan tinggi limpasan permukaan (mm), P; tinggi hujan (mm) dan S; potensi simpanan maksimal (*potential maximum storage*) (mm). Nilai CN menyatakan *curve number* limpasan dari kelompok hidrologi tanah dan penutupan lahan. Dalam penelitian ini nilai CN yang digunakan pada kondisi AMC-II.

Program ArcView digunakan untuk proses atributisasi peta hingga menghasilkan peta raster

yaitu peta raster penggunaan lahan 1991, peta raster *polygon thiesen* dan peta raster hidrologi tanah. Sedangkan bahasa pemrograman spasial PCRaster digunakan untuk penghitungan limpasan dengan input data curah hujan harian tahun 1998 dan untuk simulasi model neraca air bulanan. Alur kerja pembuatan peta limpasan permukaan disajikan pada Gambar 2. Untuk mengkaji dampak perubahan penutupan lahan terhadap hidrologi DAS, dibuat skenario perubahan dari peta penutupan lahan 1991 (PL-1991). Skenario yang dimaksud yaitu; a. Skenario perkembangan area pemukiman sebesar 100m (Pmk-100); b. Skenario perkembangan area pemukiman sebesar 500m (Pmk-500); dan c. Skenario hutan 100%. Kemudian dilakukan simulasi neraca air bulanan DAS untuk tiap skenario dalam skala sub-DAS dan DAS Cicatih dengan rumus berikut:

$$S = P - ETP - Q$$

Dimana S menyatakan Simpanan air aktual (mm), P Curah hujan bulanan (mm), ETP evapotranspirasi potensial dan Q limpasan permukaan (mm).



Gambar 2. Diagram alur kerja penelitian untuk menentukan peta spasial limpasan

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Skenario penutupan lahan

Hasil simulasi skenario perubahan penutupan lahan terhadap PL-1991 disajikan dalam Tabel 1. Pada lahan pemukiman, kebun dan sawah terjadi perubahan luas yang sangat signifikan pada pmk-100 dan Pmk-500. Hal ini disebabkan lahan sawah dan kebun merupakan lahan paling dominan dan dekat dengan pemukiman pada PL-1991. Dengan skenario Pmk-100 lahan pemukiman meningkat lebih dari 200% dan bertambah lebih dari 800% pada Pmk-500. Pada kedua skenario tersebut luas lahan sawah paling banyak mengalami penurunan sedangkan lahan hutan relatif stabil.

Tabel 1. Prosentase luas area dan prosentase perubahan tiap penutupan lahan terhadap PL-1991

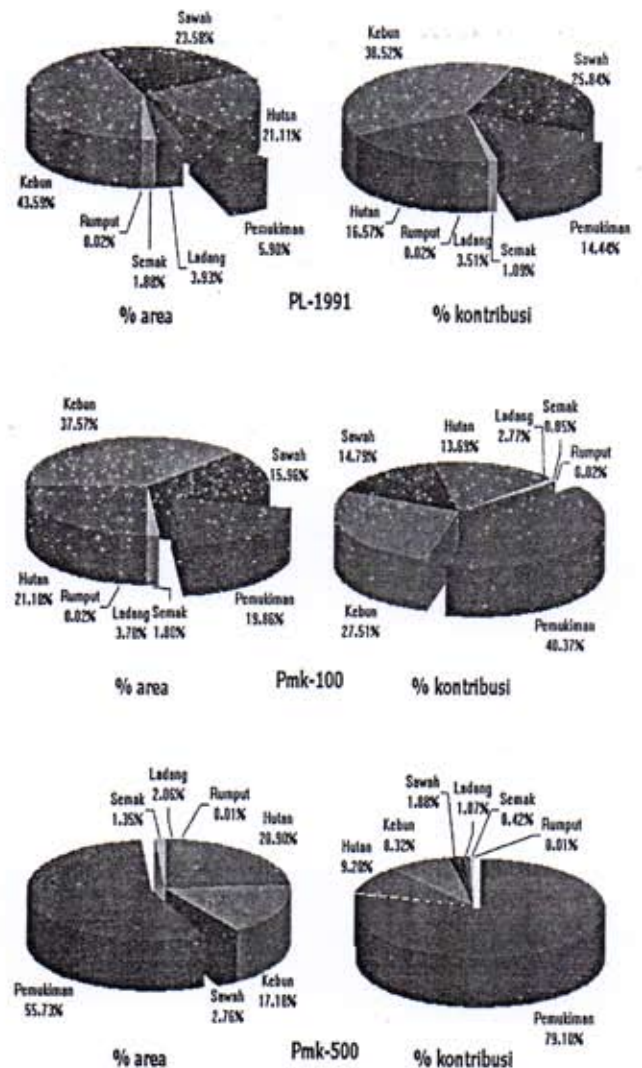
Penutupan lahan	PL-1991	Pmk-100		Pmk-500		Hutan 100%
		% area	Δ %area	% area	Δ %area	
Ladang	3.93	3.70	-5,81	2.06	-47,45	-
Rumput	0.02	0.02	0	0.01	-33,34	-
Hutan	21.11	21.10	-0,04	20.90	-0,96	100,00
Kebun	43.59	37.57	-13,82	17.18	-60,58	-
Sawah	23.58	15.96	-32,32	2.76	-88,3	-
Pemukiman	5.90	19.86	236,67	55.73	844,83	-
Semak	1.88	1.80	-4,12	1.35	-28,17	-

3.2. Kontribusi tipe penutupan lahan

Aplikasi metode SCS di DAS Cicitih pada PL-1991 menghasilkan limpasan permukaan sebesar 496 mm. Kontribusi limpasan dari tiap tipe penutupan lahan disajikan pada Gambar 3. Pada PL-1991 dan Pmk-500 besar kontribusi tiap tipe penutupan lahan terhadap limpasan permukaan DAS Cicitih mengikuti tren proporsi luasan areanya. Tetapi berbeda dengan Pmk-100, hanya dengan proporsi luas kurang dari 20 % tapi mampu mendominasi kontribusi limpasan hingga 40% terhadap limpasan DAS Cicitih.

Secara umum besarnya kontribusi limpasan tiap tipe penutupan lahan lebih ditentukan oleh proporsi luasan hal ini jelas terjadi pada PL-1991 dan Pmk-500. Sedangkan pada kasus Pmk-100 selain proporsi luasan, faktor CN juga ikut berpengaruh. Lahan hutan memiliki nilai CN lebih rendah dari lahan sawah sebesar 4 angka, perbedaan tersebut mampu mendongkrak kontribusi limpasan sawah ke limpasan

DAS Cicitih. Nilai CN akan menentukan jumlah air yang berpotensi untuk disimpan dalam tanah (*S_p potential maximum storage*). Semakin besar nilai CN maka nilai S semakin kecil sehingga lebih banyak air yang dilimpaskan. Dengan CN tertinggi sebesar 91.07, lahan pemukiman memiliki koefisien limpasan terbesar 39.84%, diikuti rumput (21.05%, CN 84), sawah (17.85%, Cn 81.08), ladang (14.24%, CN 78.27), hutan (13.16%, CN 76.99), kebun(12.96%, CN 75.27) dan semak (11.46%, CN 76.54). Korelasi antara CN dan koefisien limpasan memberikan nilai R² 0.94. Koefisien limpasan menyatakan proporsi air hujan yang mampu dilimpaskan di atas permukaan tanah dari suatu kejadian hujan.



Gambar 3. Prosentase area dan prosentase kontribusi limpasan ke limpasan DAS Cicitih pada PL-1991, Pmk-100 dan Pmk-500.

3.3. Limpasan permukaan tiap skenario

Dengan bertambahnya area pemukiman, terjadi peningkatan volume limpasan permukaan sebesar 21% dan 79% untuk pmk-100 dan pmk-500. Peningkatan area pemukiman juga ditandai dengan peningkatan nilai CN dan koefisien limpasan DAS Cicatih. Pengaruh urbanisasi mampu meningkatkan limpasan permukaan sebesar 8 mm di Delta Zhujiang, Cina Selatan (Weng 2001). Hasil simulasi limpasan permukaan dengan metode SCS di DAS Cicatih disajikan pada Tabel 2.

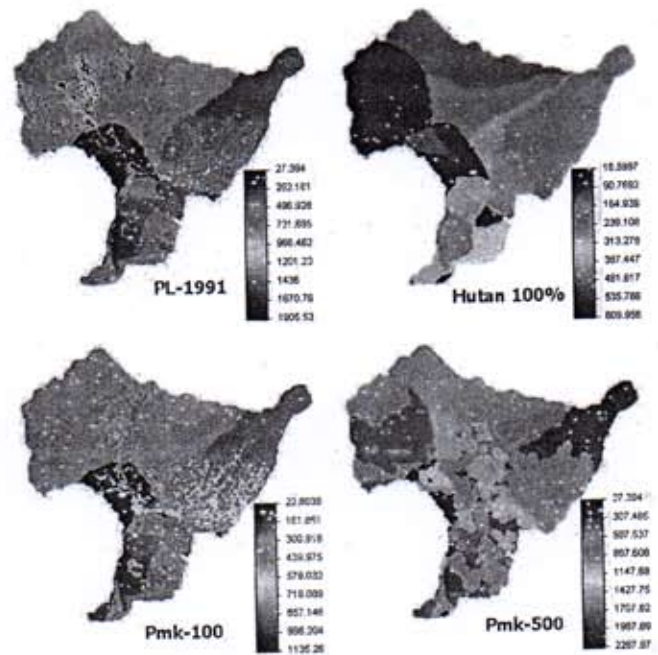
Tabel 2. Perbandingan limpasan, CN, koefisien limpasan tiap penutupan lahan

Komponen	1991	Pmk-100	Pmk-500	Hutan
Limpasan permukaan [mm]	496,21	600,45	887,02	365,36
CN [-]	78,17	79,93	84,67	74,62
Koefisien limpasan [%]	15,79	19,1	28,22	11,62
Δ Limpasan thd 1991 [mm]	0	104,24	390,81	-130,84
Perubahan limpasan permukaan thd th 1991 [%]	0	21,01	78,76	-26,37

Pada skenario Hutan 100% volume air yang dilimpaskan berkurang 131 mm atau turun 26% dari PL-1991. Pada konversi hutan alam ke perkebunan Bluegum (*Eucalyptus globules*) di India Selatan, Sharda *et al.* (1998) memperoleh hasil penurunan pada total runoff dan aliran dasar (*base flow*) sebesar 25.4% dan 26.7% pada areal perkebunan. Penurunan limpasan permukaan sebesar 5-7% terjadi pada konversi tegakan *Eucalyptus* ke tegakan pinus di Australia (Putuhena dan Cordery 2000).

3.4. Distribusi spasial limpasan permukaan

Distribusi spasial limpasan langsung DAS Cicatih disajikan pada Gambar 4. Limpasan tertinggi sebesar 2268 mm pada Pmk-500 dan terendah sebesar 15 mm pada Hutan 100%. Secara temporal, limpasan tertinggi terjadi pada bulan November dan terendah pada bulan Desember pada PL-1991, Pmk-100 dan Hutan 100%, sedangkan pada Pmk-500 limpasan tertinggi pada bulan Februari dan terendah bulan Juli.



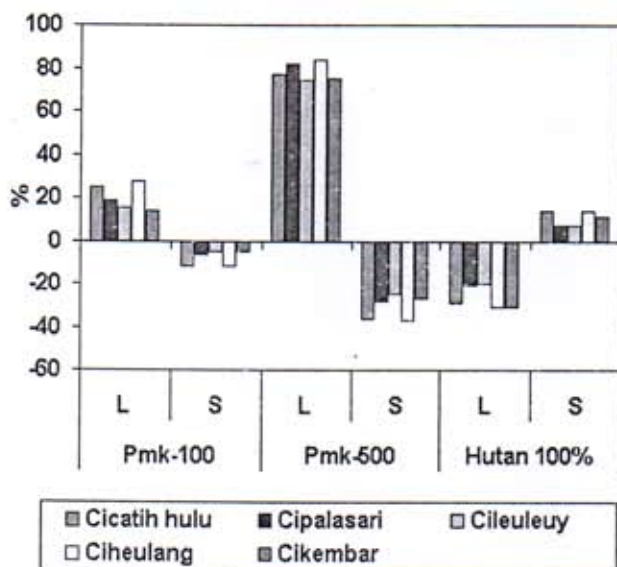
Gambar 4. Distribusi spasial limpasan permukaan DAS Cicatih pada PL-1991, Hutan 100%, Pmk100 dan Pmk-500

3.5. Arti penting perubahan limpasan permukaan

Dalam skala DAS, cara pengelolaan sumber daya air akan menentukan interaksi yang harmonis antara para pemangku kepentingan (*stakeholders*) di level *upper-watershed* dan *lower-watershed*. Alih guna lahan akan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap keberlangsungan fungsi hidrologi dan jasa lingkungan (*environmental service*) suatu DAS. Jasa lingkungan yang dimaksud seperti jasa ekowisata (contoh; arung jeram, hiking), dan jasa penyediaan air mineral (*mountain waterspring*). Fungsi hidrologi DAS seperti penyediaan air untuk irigasi, PLTA, penyediaan air yang cukup di musim kering atau untuk keperluan domestik.

Analisis neraca air dilakukan untuk memperoleh informasi simpanan air aktual (*S*) yang masuk ke dalam tanah. Hasil simulasi neraca air menunjukkan terjadi penurunan *S* pada pmk-100 dan Pmk-500 sebesar, secara berurutan, 8.2% dan 30.76% terhadap PL-1991. Sedangkan pada Hutan 100% terjadi peningkatan *S* lebih dari 10%. Secara spasial sub-DAS prosentase perubahan *S* pada tiap skenario terhadap surplus PL-1991 disajikan dalam

Gambar 5. Pada skenario Pmk-100, peningkatan limpasan sebesar 24.65% pada sub-DAS Cicatih hulu menyebabkan terjadinya penurunan S hingga hampir 12% (setara dengan penurunan 177 mm). Sedangkan pada skenario Pmk-500, peningkatan limpasan 77% pada sub-DAS Cicatih hulu menyebabkan terjadinya penurunan S sebesar 36% (setara dengan penurunan 554 mm). Penurunan S pada kedua skenario menjadi sangat penting bagi para pemangku kepentingan di sub-DAS Cicatih hulu terutama pada musim kemarau. Pihak industri air mineral mungkin akan merasakan berkurangnya debit pada sumber-sumber mata air. Distribusi air irigasi akan menjadi semakin pelik. Ketersediaan air untuk kepentingan domestik juga menjadi semakin terbatas. Sehingga penurunan S dapat menimbulkan konflik sosial di sub-DAS tersebut. Konflik serupa juga bisa terjadi di sub-DAS yang lain.



Gambar 5. Histogram prosentase perubahan L (limpasan permukaan) dan S (simpanan air aktual) terhadap L dan S PL-1991

4. Kesimpulan dan Saran

4.1. Kesimpulan

Aplikasi metode SCS di DAS Cicatih pada PL-1991 menghasilkan limpasan permukaan sebesar 496 mm. Perluasan area pemukiman berkorelasi dengan terjadinya peningkatan limpasan permukaan. Peningkatan limpasan sebesar 21% dan 79% menyebabkan penurunan simpanan air aktual turun hingga 8.2% dan 31% untuk Pmk-100 dan Pmk-500.

Penurunan simpanan air aktual merupakan konsekuensi perluasan daerah pemukiman. Ada korelasi positif antara peningkatan nilai CN dengan peningkatan volume limpasan langsung.

4.2. Saran

Penelitian ini perlu dilanjutkan untuk menghitung distribusi air yang masuk ke dalam tanah. Berapa bagian limpasan bawah permukaan dan berapa proporsi air yang diperkolasikan menjadi air bumi dan berapa yang dialirkan ke sungai sebagai *base flow*. Sehingga limpasan total DAS Cicatih diketahui

Ucapan terima kasih

Kegiatan penelitian ini mendapat dukungan dana dari LPPM IPB. Penulis mengucapkan terima kasih kepada staf Lab Hidrometeorologi IPB yang memberikan banyak fasilitas untuk pelaksanaan penelitian ini. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada Sofyan Kurnianto.

Daftar Pustaka

- Calder, I. R. 1998. Water-resource and land-use issues. SWIM Paper 3. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute.
- Croke J, Hairsine P, Fogarty P. 1999. Runoff generation and re-distribution in logged eucalyptus forests, south-eastern Australia. *J.Hydrol.*216:56-77
- Dulbahri, Suharyono, Hartono, dan A Herlian.1995. Degradasi kualitas lingkungan di Pantai utara Jawa Tengah. *Manusia dan Lingkungan* 5: 34-52
- Helming K, MJM Römken, SN Prasad. 1998. Surface roughness related processes of runoff and soil loss: A flume study. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62:243-250
- Hutjes RWA, P Kabat, and AJ Dolman. 2003. Land cover and the climate system. In: AJ Dolman, A Verhagen, and CA Rovers. *Global environmental change and land use*. Kluwer Academic Publishers: Dordrecht-Boston-London. Page: 73- 110.
- Lukey BT, Sheffield J, Bathurst JC, Hiley RA, Mathys N. 2000. Test of the SHETRAN technology for modelling the impact of reforestation on badlands runoff and sediment yield at Draix, France. *J.Hydrol.*235:44-62

- Pawitan H. 2004. Assessing The Biophysical Indicators Of Forested Watershed Functions. Final Report for CIFOR/IPB Hydrometeorology Laboratory Research Collaboration. Laboratory of Hydrometeorology, Bogor Agricultural University. December 2004
- Pawitan H. 2006. Assessing the Biophysical Indicators of Forested Watershed Functions. Final Report for IPB/CIFOR Research Collaboration Phase-II. Lab of Hydrometeorology, Bogor Agricultural University. February 2006
- Putty MRY, Prasad R. 2000. Understanding runoff processes using a watershed model—a case study in the Western Ghats in South India. *J. Hydrol.* 228:215-227.
- Putuhena WM, and I Cordery. 2000. Some hydrological effects of changing forest cover from eucalypts to *Pinus radiata*. *Agric. For. Meteorol.* 100:59-72
- Schulze RE. 2000. Modelling Hydrological Responses to Land use and Climate change: A Southern African Perspective. *Ambio* 29(1): 12-22.
- Sharda VN, P. Samraj, J.S. Samra, V. Lakshmanan. 1998. Hydrological behaviour of first generation coppiced bluegum plantations in the Nilgiri sub-watersheds. *J. Hydrol.* 211: 50-60.
- Sihite J. 2001. Evaluasi dampak erosi tanah. Model pendekatan ekonomi lingkungan dalam perlindungan DAS: Kasus sub-DAS Besai DAS Tulang Bawang Lampung. Southeast Asia Policy Research Working Paper No.11. Bogor: ICRAF
- Weng Q. 2001. Modeling Urban Growth Effects on Surface Runoff with the Integration of Remote Sensing and GIS. *Environmental Management* 28 (6): 737-748.