

PEMANFAATAN SISTEM INFORMASI GEOGRAFI DALAM APLIKASI MODEL HIDROLOGI UNTUK PREDIKSI DEBIT (Q) DAN DEBIT PUNCAK (QP)

Sukresno dan Paimin

Peneliti Madya Bidang Hidrologi dan Konservasi Tanah

Balai Penelitian Kehutanan Solo, Gedung Litbang Kehutanan, Departemen Kehutanan

Jl. A. Yani-Pabelan PO box 199 Surakarta, Tlp/fax 0271716709,

email: bpk solo@indou.net.id; atau su_kresno@yahoo.co.id

Abstract

Hydrological data in the form of rainfall (P), discharge volume (Q, mm), and peak discharge (Qmax or qp, m³/s) have an important mean in watershed management in Indonesia. The availability of these data in each watershed is still limited in number right now, because not all rivers has an observation tool, neither rain gauge nor stream gauge stations. The uses of discharge data in watershed management are to assess 1) the ratio of Qmax/Qmin or river regime coefficient (KRS) to determine the level of critical watershed, 2) the ratio of Q/P or runoff coefficient (C) to determine the level of water permeation area. By modeling hydrology, the values of watershed discharge volume (Q) and peak discharge (qp) could be predicted conceptually based on data information from input parameters to a model. The Q value was calculated by a CN method from SCS while the qp value was calculated by the Rational method. Both models could be more easily and quickly run by using Geo Information System tool, i.e., data processing, analyzing, storing, and retrieving of input parameters. The importance factor of running the CN model is to calculate the watershed of CN weighted average value, while the rational model is to calculate the watershed of C weighted average value. With GIS tool, the inputting data parameters to support the model to predict watershed or sub watershed hydrological data (Q and qp) could be easily employed. Then its information could be used to support watershed management activities, mainly to evaluate the condition of critical level of watershed/sub watershed and water permeation level of watershed/sub watershed.

Keywords: data, hydrology, discharge, peakdischarge, watershed, GIS

Abstrak

Data hidrologi berupa hujan (P), volume debit (Q, mm), dan debit puncak (Qmax atau qp, m³/det) sangat penting artinya dalam pengelolaan DAS di Indonesia. Ketersediaan data tersebut untuk setiap sungai (DAS) saat ini masih sangat terbatas jumlahnya, karena tidak semua sungai memiliki alat pemantauanya, baik alat penalar hujan maupun SPAS. Pemanfaatan data debit dalam pengelolaan DAS yaitu menilai: 1) Qmax/Qmin atau koefisien regime sungai (KRS) - menetapkan tingkat kritisitas DAS dan 2) Q/P atau koefisien limpasan (C) - menetapkan tingkat daerah resapan air. Dengan pemodelan hidrologi, nilai volume debit (Q) dan debit puncak (qp) suatu DAS atau sub-DAS secara konseptual dapat diprediksi berdasarkan informasi data dari parameter-parameter masukan (input) ke model. Nilai Q dihitung dengan metode CN-SCS sedang nilai qp dihitung dengan metode Rasional. Untuk menjalankan kedua model hidrologi tersebut menjadi lebih mudah dan cepat yaitu dengan memanfaatkan perangkat SIG untuk pengolahan dan analisis data serta menyimpan dan mengambil kembali dari data parameter-parameter input-nya. Faktor penting dalam menjalankan model CN adalah menghitung nilai CN rata tertimbang untuk DAS, sedang pada model Rasional adalah menghitung nilai koefisien limpasan (C) rata-rata tertimbang DAS. Dengan SIG, maka parameter-parameter input data pendukung model untuk memprediksi data hidrologi (Q dan qp) DAS atau sub-DAS dapat dilakukan dengan mudah sehingga

informasinya dapat dimanfaatkan untuk mendukung kegiatan-kegiatan pengelolaan DAS, khususnya untuk meng-evaluasi kondisi tingkat kekritisan DAS/sub-DAS dan kondisi tingkat daerah resapan air DAS/sub-DAS.

Katakunci: data, hidrologi, debit, debitpuncak, DAS, SIC

1. Pendahuluan

Laju kerusakan hutan di Indonesia pada tahun 2000-2005 menurut FAO sebesar 1,8 juta Ha per tahun, sedang menurut Dephut sebesar 2,8 juta Ha/th dan dilaporkan laju deforestasi di Indonesia untuk dunia berada di urutan kedua setelah Brazil (3,1 juta Ha/th). Kondisi ini secara nyata berpengaruh pada perubahan iklim global sebagai akibat adanya peningkatan efek gas rumah kaca yang salah satunya disebabkan deforestasi dan degradasi hutan. Sejalan dengan laju deforestasi dan degradasi hutan di Indonesia, jumlah DAS kritis juga terus bertambah yang saat ini jumlah DAS kritis prioritas I, II, dan III masing-masing sebanyak 62, 232, dan 178 DAS dengan jumlah totalnya ada 472 DAS (SK Menhutbun No. 284/Kpts-II/1999). Dampak yang nyata dirasakan masyarakat di seluruh wilayah Indonesia adalah seringnya terjadibanjir, kekeringan, dan tanah longsor.

Banjir sebenarnya hanyalah suatu peristiwa alam biasa, kemudian menjadi masalah jika telah mengganggu kehidupan dan penghidupan manusia. Banjir adalah debit aliran air sungai (limpasan) yang secara relatif lebih besar dari kondisi normal akibat hujan di hulu atau di suatu tempat tertentu secara terus menerus, sehingga air limpasan tidak dapat ditampung oleh alur sungai yang ada, maka air melempah keluar dan menggenangi daerah sekitarnya (Tim PKPS 1997). Limpasan (runoff, Q) dikemukakan oleh Chow (1964) dan Seyhan (1977) adalah bagian hujan yang mengalir dan kemudian muncul di permukaan sungai, air limpasan ini berasal dari daerah tangkapan air atau DAS yang keluar dari outletnya. Limpasan langsung(direct runoff, direct surface runoff, atau storm runoff) adalah bagian dari limpasan yang masuk ke sungai saat setelah kejadian hujan. Aliran dasar (base flow, base runoff) adalah limpasan yang berlangsung secara terus-menerus, walaupun tanpa ada hujan. Hujan efektif (effective precipitation) adalah bagian lebihan hujan (rainfall excess) yang secara cepat seluruhnya menjadi limpasan langsung. Penggunaan metode simulasi dari beberapa permodelan hidrologi, antara lain, untuk memprediksi volume limpasan (Q) dengan metode SCS (Soil Conservation Service 1964) seperti diperlihatkan pada Tabel I (Singh 1989). Model prediksi dengan metode SCS sifatnya sederhana, simpel, akurat, dan menggunakan data hujan dan karakteristik DAS yang mudah didapat. Untuk memprediksi Q, metode SCS dapat digunakan untuk DAS kecil sampai besar, yakni luasan 25.000Ha (250Km²) (Johnson 1998) sampai dengan 2.590 Km² atau 259.000Ha (McCuen 1989; Williams and LaSeur 1976 dalam Singh 1989).

Debit banjir (qp) dapat diprediksi dengan menggunakan model "Rumus Rasional" (Chow 1964; McCuen 1989; Sosrodarsono dan Takeda 1993). Meskipun rumus ini sudah cukup lama digunakan serta kurang jelas asalnya (Chow 1964), tetapi sangat dikenal dan banyak dipakai dalam penggunaan praktis di lapangan (McCuen 1989; dan Sosrodarsono dan Takeda 1993). Penggunaan model rasional dapat diterapkan pada DAS dari berukuran kecil (<15Km² atau 1.500Ha) sampai DAS berukuran besar (200.000Km² atau 2.000.000Ha) dengan kombinasi penggunaan lahan yang kompleks.

Tabel 1. Metode prediksi volume limpasan (Q) dengan beberapa model hidrologi

No	Model			Metode Pendugaan Volume Limpasan
	Nama	Penulis	Tahun	
1	HEC-1	Hydrologic Engineering Center	1981-1982	SCS Curve Number
2	TR-20	Soil Conservation Service	1973	SCS Curve Number
3	USGS	Dawdy et al.	1972	SCS Curve Number
4	HYMO	William dan Hann	1973	SCS Curve Number
5	WAHS	Singh	1983	SCS Curve Number

Sumber: Singh(1989)

Pemanfaatan SIG untuk perhitungan dalam prediksi Q dan qp telah banyak dilakukan khususnya untuk membantu dalam perhitungan nilai CN dan nilai C rata-rata DAS/sub-DAS (Arnold et al. 1994; DiLuzio et al. 1998; Gumbo et al. 2001; Bingner dan Theurer 2001; DiLuzio et al. 2001; Biesbrouck et al. 2002; dan Direktorat PDAS 2007). Tulisan ini akan menjelaskan proses pemanfaatan SIG untuk menghitung volume limpasan (Q) dan debit puncak (qp) suatu DAS/sub-DAS, khususnya pada penyusunan nilai CN dan nilai koefisien C rata-rata DAS/sub-DAS, dengan studi kasus di sub-DAS Lesti, DAS Brantas, Provinsi Jawa Timur. Pemanfaatan metode prediksi ini adalah masih terbatasnya data aktual nilai volume limpasan (Q) dan debit puncak suatu DAS/sub-DAS, karena belum semua sungai/anak sungai memiliki alat pemantau debit aliran air atau SPAS.

2. Pemodelan Hidrologi

Model Hidrologi adalah sebuah sajian sederhana untuk menggambarkan sistem kehidupan nyata (real world) dari sebuah sistem hidrologi yang kompleks. Sistem adalah sekumpulan urutan antar hubungan dari unsur-unsur yang dialihragamkan (transform), dalam referensi waktu yang diberikan, dari unsur masukan yang terukur menjadi unsur keluaran yang terukur. Model hidrologi dibedakan atas model empirik dan model konseptual (Harto 1993), model empirik adalah model yang hanya didasarkan pada hasil percobaan dan pengalaman, sedang model konseptual adalah model yang menyajikan proses-proses hidrologi dalam persamaan matematik dan membedakan antara fungsi produksi dan fungsi penelusuran (routing). Parameter adalah besaran yang menandai suatu sistem hidrologi yang memiliki nilai tetap, tidak tergantung dari waktu. Variabel adalah besaran yang menandai suatu sistem, yang dapat diukur dan memiliki nilai berbeda pada waktu yang berbeda. Model dikatakan "lumped" adalah jika besaran dari variabel dan parameter yang diwakilinya mengabaikan variabilitas ruang (spatial), misalnya model SCS dan rational untuk menghitung nilai Q dan qp, dimana masukannya berupa hujan rata-rata DAS. Model dikatakan "distributed" adalah jika besaran dari variabel dan parameter yang diwakilinya mengandung variabilitas ruang dan waktu, misalnya model ANSWERS.

2.1 Metode Prediksi Volume Limpasan (Q)

Metode perhitungan volume limpasan (Q) dengan metode SCS didasarkan periakukan infiltrasi tanah dari air hujan yang jatuh pada berbagai jenis tanah dengan vegetasi penutupan yang berbeda. Pada perkiraan total volume limpasan ini data yang digunakan meliputi data hujan (harian) yang terdiri sebagai masukan tanah (input); serta data tanah (kelompok hidrologi tanah dan kelembaban tanah awal/AMC), jenis penutupan vegetasi dan cara pengelolaannya sebagai karakteristik dari DAS yang ada (SCS 1964). Persamaan metode pendugaan Q dengan metode SCS, yaitu:

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P - 0.8S} \quad \text{dengan } P = 0.2S \quad (1)$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (2)$$

Total limpasan permukaan (mm) dinyatakan dengan Q , curah hujan (mm) P , potensi retensi air (infiltrasi) maksimum (mm) S , dan bilangan kurva untuk AMC II (rata-rata) CN. Bilangan CN DAS/sub-DAS besarnya antara 0 sampai 100, nilainya dipengaruhi oleh kondisi hidrologi, kelompok hidrologi tanah, kelembaban tanah awal, jenis penutupan lahan dan cara pengelolaannya. Nilai CN spasial untuk setiap jenis penggunaan lahan diperoleh dengan menggunakan perhitungan rata-rata tertimbang seperti dijelaskan pada Tabel 2. Nilai masing-masing CN yang ada pada Tabel 2 didasarkan pada kelompok hidrologi tanah A, B, C, dan D serta untuk AMC II (kelembaban tanah rata-rata pada curah hujan 5 hari terakhir antara 35-52,5 mm) yang nilainya dikategorikan menurut besarnya laju infiltrasi tanah dan atau tekstur tanah, seperti disajikan pada Tabel 3. Biasanya nilai Q pada setiap kejadian hujan harian dihitung berdasarkan persamaan (1) dan (2) atau diagram pada Gambar 1.

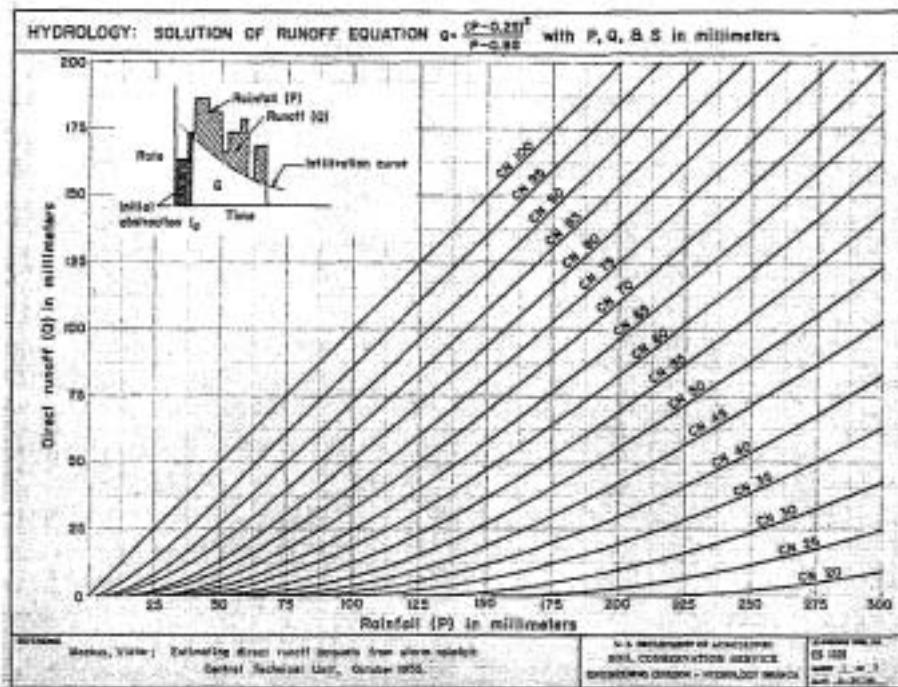
Tabel 2. Nilai CN pada beberapa penutupan lahan berdasarkan interpretasi data penginderaan jauh (pada kondisi AMC II)

No	Penutupan Lahan	Kelompok Hidrologi Tanah			
		A	B	C	D
1	Hutan	25	55	70	77
		30	58	72	78
		25	55	70	77
2	Padang rumput	36	60	73	78
3	Kawasan industri dan perpaketan kedap air	90	93	94	94
		90	93	94	95
4	Kawasan perumahan	60	74	83	87
5	Lahan terbuka	72	82	88	90
		77	86	91	94
6	Lahan pertanian tertutup tanaman	52	68	79	84
7	Lahan pertanian	64	75	83	87
8	Tubuh perairan	98	98	98	98

Tabel 3. Kelompok Widrologi Tanah (Hydrologic Soil Group)

Kelompok Tanah	Laju Infiltrasi Tanah (mm/jam)	Tekstur Tanah
A	8-12	Pasir (sand), Pasir Berlempung, Lempung Berpasir
B	4-8	Lernpung Berdebu, Lempung (loam)
C	1-4	Lernpung Pasir Berliat
D	<1	Lempung Berliat, Lernpung Debu Berliat, Liat Berpasir, Liat Berdebu, Liat (clay)

Sumber: McCuen (1989) dan US SCS (1972)



Gambar 1. Diagram perhitungan volume limpasan (Q, mm) berdasarkan masukan hujannya (P, mm) dan nilai CN

2.2. Metode Prediksi Debit Puncak (qp)

Cara prakiraan qp saat ini dikenal beberapa metode antara lain: metode hidrograf satuan, metode analisis frekuensi, metode rasional, dan metode SCS (Singh 1989). Pada metode hidrograf satuan, penentuan debit puncak didasarkan pada derivasi hidrograf banjir dari hujan efektif setebal 1 mm. Pada metode analisis frekuensi, qp dihitung dengan mengetahui masa ulang tertentu dari historis data qp yang telah ada pada periode waktu yang panjang (misal 30 tahun). Pada metode SCS, perhitungan qp didasarkan pada besarnya volume limpasan (Q x A) selama waktu konsentrasi (tc). Pada metode rasional, debit puncak dihitung hanya didasarkan pada karakteristik hujan (curah harian maksimum dan waktu konsentrasi/tc), karakteristik DAS (penutupan lahan dan luas), dan saat ini telah banyak digunakan karena kepraktisannya. Persamaan prakiraan debit puncak (qp) metode Rasional, yaitu:

$$qp = fCIA \quad (3)$$

qp dalam m^3/dtk , faktor koreksi f; jika satuan luas A dalam km^2 maka $f = 0,278$; dan jika A dalam ha maka $f = 0,00278$, koefisien limpasan, yaitu nisbah laju puncak aliran permukaan terhadap intensitas hujan C (disajikan dalam Tabel 4), intensitas hujan (mm/jam) dari hujan maksimum (mm) yang diharapkan terjadi dalam interval tertentu dan untuk kurun waktu yang sama dengan waktu konsentrasi (tc, jam) dinyatakan dengan I, dan luas DAS (Ha atau Km^2) A. Besarnya tc dihitung dengan metode Kirpich (1940):

$$tc = 0,0195 L^{0,37} S^{-0,15} \quad (4)$$

tcadalah waktu konsentrasi (menit), L panjang aliran (m), S lerengaiiran (m/m) perbedaan tinggi elevasi antara tempat keluar (outlet) aliran dari DAS dengan titik terjauh aliran (H) dibagi panjangaliran (L); $S=H/L$.

Perhitungan nilai intensitas hujan (I) metode Mononobe (Sosrodarsono dan Takeda, 1993), yaitu:

$$I = \frac{P_{24}}{24} \left(\frac{24}{tc} \right)^{0.67} \quad (5)$$

Iintensitas hujan yang lamanya sarna dengan waktu konsentrasi (mm/jam), P_{24} curah hujan harian maksimum selama 24 jam (mm).

3. Pemanfaatan SIC untuk analisis Q dan qp

Untuk penghitungan model Q dan qp suatu DAS/DTA maka perangkat SIG dengan software ArcView3.x dapat digunakan untukanalisis data spasial dari parameter-parameter rnasukan pada model. Sub-DAS Lesti merupakan bagian dari DAS Brantas Hulu digunakan sebagai contoh untuk menerapkan perhitungan-perhitungan parameter dari model: Q dan qp sebagai berikut:

1. Volume Limpasan (Q)

Tahapan perhitungan nilai Q metode SCS, yaitu:

- a. Membatasi sub-DAS Lesti (dari peta **topografi/peta kontur/data DEM**)
- b. Membuat peta digital untuk jenis penutupan **lahan** aktual (dari peta penutupan lahan atau citra satelit terbaru Landsat 7ETM+ atau SPOT 4/SPOT 5) kemudian dioverlay dengan peta tanah(kondisi hidrologitanah/infiltasi)di sub-DAS Lesti.
- c. Mengumpulkan data hujan harian pada lokasi sub-DAS Lesti
- d. Membuat peta **sebaran** nilai-nilai **CN** pada sub-DAS Lesti, dilakukan dengan cara menumpang-tindihkan (overlay) peta penutupan lahan pada peta tanah (kelompok hidrologi tanah). Nilai CN dari setiap poligon perpotongan antara peta penutupan lahan dan peta tanah ditetapkan dengan Tabel 3.
- e. Menghitung nilai CN tertimbang dari nilai-nilai CN sub-DAS Lesti pada berbagai tipe penggunaan lahan dengan cara pengelolaannya (dari peta penutupan lahan), kondisi hidrologi dan kelompok hidrologi tanahnya (dari peta tanah), untuk kondisi **AMCII**(rata-rata) pada sub-DAS Lesti (dari data hujan harian 1 tahun),
CNtertimbang untuk sub-DAS **Lesti**= $1681664/24472,320=68,72 \approx 69$
- f. Menghitung nilai potensi retensi air maksimum (s) sub-DAS Lesti dengan menggunakan persamaan (2) untuk kondisi **AMCII**,
 $S=(25400/CN_{av})$ $254=25400/69$ $254=114,12$
- g. Menghitung nilai volume limpasan (Q) sub-DAS Lesti dengan rnenggunakan persamaan (1) dan data hujan harian (P), misal 150 mm, maka nilai volume debit untuk satuan tebal limpasan (Q) untuk satu kejadian hujan, yaitu 67 mm, dengan perhitungan sbb.:
 $Q=(P \cdot 0,25)2/(P+0,8S)=(1500,2 \cdot 114,12)2/(150+0,8 \cdot 114,12)=67 \text{ mm}$
- h. Untuk menghitung nilai Q tahunan, selanjutnya digunakan nilai-nilai data hujan harian selama setahun.
- i. Dengan rnengetahui nilai Q (mm) dan P (mm) maka koefisien limpasan ($C = Q/P$) dapat dihitung untuk DAS/sub-DAS.

2. Debit Puncak (qp)

- a. Membatasi sub-DASSasaran (dari peta topografi] peta kontur/ data DEM)
- b. Membuat peta kontur dengan data DEM
- c. Membuat peta jaringan sungai dengan data DEM
- d. Nilai t_c dihitung dengan persamaan (4) dimana nilai parameter S diperoleh dari beda tinggi (elevasi) titik terjauh dan outlet (H) dari panjang sungai utama pada peta kontur (L).

$$L = 46240,906 \text{ m, dan } S = (2900 \text{ m} - 328 \text{ m}) / 46240,906 \text{ * } 100\% = 5,56\%$$

$$t_c = 0,0195 \text{ L}^{0,77} S^{0,56} = 0,0195 \text{ * } 46240,906^{0,77} \text{ * } 5,56^{0,56} = 39,37 \text{ menit} = 0,66 \text{ jam}$$

- e. Dengan mengumpulkan data hujan harian selama 1 tahun pada lokasi sub-DAS Pantauan dapat dipilih besar curah hujan harian maksimum yang terjadi pada bulan Januari Desember serta nilai tahunannya (P_{24})
- f. Dengan metode Mononobe maka nilai intensitas hujan (I) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (5), misal $P_{24} = 150 \text{ mm/hari}$
$$I = (P_{24}/24) \times (24/t_c)^{0,77} = (150/24) \times (24/0,66)^{0,77} = 69,43 \text{ mm/jam}$$
- g. Dengan peta sub-DAS maka luasnya (A) dapat dihitung = 24472,320 ha
- h. Nilai koefisien limpasan (C) spasial dihitung dengan menggunakan peta penutupan lahan akual yang diperoleh dari peta RBI dan atau citra satelit terbaru.
- i. Nilai koefisien limpasan (C) tertimbang untuk sub-DAS Sasaran dihitung dengan menggunakan jumlah luasan setiap poligon penutupan lahan pada sub-DAS dikalikan dengan nilai koefisien C masing-masing jenis penutupan lahan pada poligon tersebut (Lampiran 1) kemudian dibagi total luas sub-DAS.
$$\text{Koeffisien C tertimbang sub-DAS} = 6870,17 / 24472,320 = 0,28$$
- j. Dengan diketahuinya nilai f , C , I , dan A sub-DAS Pantauan maka nilai qp untuk bulanan dan tahunan dapat diprakirakan.

$$qp = f C I A = 0,00278 * 0,28 * 69,43 * 24472,320 = 1322,59 \text{ m}^3/\text{det}$$

4. Kesimpulan dan Saran

Pemanfaatan data debit dalam pengelolaan DAS yaitu menilai: 1) $Q_{\text{maks}}/Q_{\text{min}}$ atau koefisien regime sungai (KRS) - menetapkan tingkat kekritisan DAS dan 2) Q/P atau koefisien limpasan (C) - menetapkan tingkat daerah resapan air. Dengan pemodelan hidrologi, nilai volume debit (Q) dan debit puncak (qp) suatu DAS atau sub-DAS secara konseptual dapat diprediksi berdasarkan informasi data dari parameter-parameter masukan (input) ke model. Nilai Q dihitung dengan metode CN-SCS sedang nilai qp dihitung dengan metode Rasional. Untuk menjalankan kedua model hidrologi tersebut menjadi lebih mudah dan cepat yaitu dengan memanfaatkan perangkat SIG untuk pengolahan dan analisis data serta menyimpan dan mengambil kembali dari data parameter-parameter input-nya. Faktor penting dalam menjalankan model CN adalah menghitung nilai CN rata tertimbang untuk DAS, sedang pada model Rasional adalah menghitung nilai koefisien limpasan (C) rata-rata tertimbang DAS. Dengan alat SIG, maka parameter-parameter input data pendukung model untuk memprediksi data hidrologi (Q dan qp) DAS atau sub-DAS dapat dilakukan dengan mudah sehingga informasinya dapat dimanfaatkan untuk mendukung kegiatan-kegiatan pengelolaan DAS, khususnya untuk mengevaluasi kondisi tingkat kekritisan DAS/sub-DAS dan kondisi tingkat daerah resapan air DAS/sub-DAS.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih pertama kepada Ir. Wartam (KasubDir Evaluasi DAS-Direktorat Pengelolaan DAS) dan Dr. Ir. Hari Santoso (Direktur Pengelolaan DAS-Ditjen RLPS) yang telah memberikan kesempatan menyusun rangkaian tulisan ini. Ucapan terima kasih juga diberikan kepada Dr. Pramono Hadi (Dosen F-Geografi UGM) yang telah memberikan banyak masukan dan koreksi, Eko Priyanto (Teknisi SIG BP2TPDAS IBB) yang telah membantu dalam mengoperasikan SIG, serta semua pihak baik langsung maupun tidak langsung yang telah membantu selesainya tulisan ini.

Daftar Pustaka

Arnold JG, JR Williams, R Srinivasan, KW King, and RH Griggs. 1994. SWAT-Soil Water Assessment Tool. USDA, ARS, Grassland, soil and Water Research Laboratory, Temple, Texas.

Biesbrouck B, GWyseure, Jvan Orschoven, and JFeyen. 2002. AVSWAT 2000. K>U>Leuven, Laboratory for Soil and Water Management, Leuven, Belgium.

Bingner RL and FD Theurer. 2001. AnnAGNPS Technical Processes: Documentation Version 2. USDA-ARS, National Sedimentation Laboratory, Oxford, MS and USDA-NRCS, National Water & Climate Center, Gaithersburg, MD.

Chow VT. 1964. Handbook of Applied Hydrology: A Compendium of Water Resource Technology. McGraw-Hill Book Company, New York.

DiLuzio M, R Srinivasan, and SL Neitsch. 1998. SWAT ArcView Interface User's Guide for SWAT 98.1, 1998 Beta Release. Blackland Research Center, Texas Agriculture Experimental Station, Texas.

DiLuzio M, R Srinivasan, and SL Neitsch. 2001. SWAT ArcView Interface User's Guide for SWAT 2000. Blackland Research Center, Texas Agriculture Experimental Station, Texas.

Direktorat PDAS. 2007. Pedoman Pemantauan Tata Air Daerah aliran Sungai dengan Pendekatan Pemodelan Hidrologi. Peraturan Ditjen RLPS No. P. 001/V-DAS/2007 tanggal 30 Januari 2007, Ditjen RLPS, Departemen Kehutanan, Jakarta.

Gumbo B, N Munyamba, G Sithole, and HH G Savenue. 2001. Coupling of Digital Elevation Model and Rainfall-Runoff Model in Storm Drainage Network Design. 2nd WARFSA/WaterNet Symposium: Integrated Water Resources Management Theory, Practice, Cases. Cape Town, South Africa. 71-80 p.

Harto S Br. 1993. Analisis Hidrologi. PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta. 303p.

Johnson RR. 1998. An Investigation of Curve Number Application to Watershed in Excess of 25000 Hectars (250 km²). Journal of Environmental Hydrology, 6(7): 1-10.

McCuen RH. 1989. Hydrologic Analysis and Design. Prentice Hall, Englewood Clift, New Jersey.

Seyhan E 1977. Fundamentals of Hydrology. Terjemahan. S. Subagyo. 1993. Dasar-Dasar Hidrologi. Cetakan kedua. Gajah Mada Univ. Press. Yogyakarta. 380pp.

Pemanfaatan Sistem Informasi Geografi dalam Aplikasi Model Hidrologi untuk Prediksi Debit (q) dan Debit Puncak (qp)

Soil Conservation Service. 1964. Hydrology. SCS National Engineering Handbook, Section 4, Chapter 10, US Dept. Of Agriculture, Washington, DC.

Soil Conservation Service. 1986. Urban Hydrology for Small Watersheds, Technical Release 55 (TR-55).

Singh VP. 1989. Hydrologic Systems, Vol. II: Watershed Modelling,. Prentice Hall, Englewood Clift, New Jersey.

Sosrodarsono S dan K Takeda. 1993. Hidrologi Untuk Pengairan. PT. Pradnya Paramita, Cetakan KeVII, Jakarta.

Sukresno. 1997. Metode Estimasi Limpasan Permukaan Untuk Perencanaan Dan Evaluasi Kegiatan RLKT. Info DAS No 1, BTPDAS Surakarta, Badan Litbang Kehutanan, Surakarta.

UU RI No 7 Tahun 2004 Tentang Sumber Daya Air.

Lampirant. Nilai koefisien limpasan (C) untuk persamaan rasional (qp) untuk Kelompok Hidrologi Tanah A, B, C, D dan 3 kelas slope

Penggunaan Lahan	A			B			C			D		
	0-2%	2-8%	>8%	0-2%	2-8%	>8%	0-2%	2-8%	>8%	0-2%	2-8%	>8%
Lahan Pertanian/Bigarap	0,08	0,13	0,16	0,11	0,15	0,21	0,14	0,19	0,26	0,18	0,23	0,31
Padang	0,12	0,20	0,30	0,18	0,28	0,37	0,20	0,25	0,34	0,14	0,20	0,41
Pengembalan	0,75	0,25	0,37	0,25	0,34	0,45	0,30	0,42	0,52	0,37	0,50	0,62
Padang Rumput	0,10	0,16	0,25	0,14	0,22	0,30	0,20	0,18	0,36	0,19	0,30	0,40
Hutan/Perkebunan	0,05	0,08	0,11	0,08	0,11	0,14	0,10	0,13	0,16	0,12	0,16	0,20
Pemukiman luas 0,05 ha	0,25	0,28	0,31	0,27	0,30	0,35	0,30	0,33	0,38	0,33	0,36	0,42
Pemukiman luas 0,1 ha	0,33	0,37	0,40	0,35	0,39	0,44	0,38	0,42	0,49	0,41	0,45	0,54
Pemukiman luas 0,2 ha	0,22	0,26	0,29	0,24	0,29	0,33	0,27	0,31	0,36	0,30	0,34	0,40
Pemukiman luas 0,12 ha	0,30	0,34	0,37	0,33	0,37	0,42	0,36	0,40	0,47	0,38	0,42	0,52
Pemukiman luas 0,25 ha	0,19	0,23	0,26	0,21	0,26	0,30	0,25	0,29	0,34	0,18	0,32	0,39
Pemukiman luas 0,3 ha	0,28	0,32	0,35	0,30	0,35	0,39	0,33	0,38	0,45	0,36	0,40	0,50
Pemukiman luas 0,1 ha	0,16	0,20	0,24	0,19	0,23	0,28	0,22	0,27	0,32	0,16	0,30	0,37
Kawasan Industri	0,25	0,29	0,32	0,18	0,31	0,36	0,31	0,35	0,42	0,34	0,38	0,48
Kawasan Komersial	0,14	0,19	0,22	0,17	0,21	0,26	0,20	0,25	0,31	0,14	0,29	0,35
Jalan Raya	0,22	0,26	0,29	0,24	0,28	0,34	0,28	0,33	0,40	0,31	0,35	0,46
Taman Kota	0,67	0,68	0,68	0,68	0,68	0,69	0,68	0,69	0,69	0,69	0,69	0,70
Lahan Parkir/Batuan	0,85	0,85	0,86	0,85	0,86	0,86	0,86	0,86	0,87	0,86	0,86	0,88
Singkapan	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72
	0,88	0,88	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,90
	0,70	0,71	0,72	0,71	0,72	0,74	0,72	0,73	0,76	0,73	0,75	0,78
	0,76	0,77	0,79	0,80	0,82	0,84	0,84	0,85	0,89	0,89	0,91	0,95
	0,05	0,10	0,14	0,08	0,13	0,19	0,12	0,17	0,24	0,06	0,21	0,28
	0,11	0,16	0,20	0,14	0,19	0,26	0,18	0,23	0,32	0,22	0,27	0,39
	0,85	0,86	0,87	0,85	0,86	0,87	0,85	0,86	0,87	0,85	0,86	0,87
	0,95	0,96	0,97	0,95	0,95	0,97	0,95	0,96	0,97	0,95	0,96	0,97