

PENGGUNAAN MODEL HIDROLOGI SWAT (SOIL AND WATER ASSESSMENT TOOL) DALAM PENGELOLAAN DAS CISADANE
(Application SWAT Hydrology Model in Cisadane Watershed Management)*

Edy Junaidi¹ dan/and Surya Dharma Tarigan²

¹Balai Penelitian Kehutanan Ciamis

Jalan Ciamis-Banjar Km. 4 P.O. Box 5. Telp. 0265771352; email: edy_jun2003@yahoo.com

²Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor

*Diterima: 06 September 2010; Disetujui: 24 April 2011

ABSTRACT

Effective watershed management should take hydrologic response unit into consideration. Therefore, analysis in watershed management should employ hydrological model. This research exploited SWAT (Soil and Water Assessment Tool) model. SWAT was a distributed hydrologic model interfaced with GIS (Geografic Information System) and integrated with Decision Support System. The research was aimed (1) to identify the sub watershed and land unit categorized which cause problem on Cisadane Watershed and (2) to evaluate implementation of Cisadane watershed management. According to SWAT analysis, some three sub-watersheds were categorized as potentially cause problem concerning water management and land use, i.e. sub of Cisadane Hilir 2 watershed, sub of Cisadane Tengah 2 watershed and sub of Cisadane Hulu 8 Watershed. Sub-watersheds that had tendency to give the highest peak flow were sub-Watershed Cianten Hilir 3 and Sub-Watershed Cianten Hulu 3. Sub-watersheds that produced highest amount of sediment were sub-Watershed Ciampea, sub-Watershed Cihideung and sub-Watershed Cinangneng. Evaluation on the watershed management planning with applying merger scenario, water management related criteria was classified as good, bud land use related criteria was classified as not good. Application of SWAT model could be identified to identify the sub Watershed and land unit categorized as having problem on Watershed and to evaluate various alternative of Watershed management planning. Finally with application of SWAT model could to select best watershed management planning.

Keywords: Watershed management planning, model hydrology and SWAT

ABSTRAK

Efektifitas dari pengelolaan DAS harus memperhatikan respon hidrologi pada setiap pelaksanaannya. Dengan demikian dalam analisis pengelolaan DAS sebaiknya menggunakan model hidrologi. Penelitian ini memanfaatkan model hidrologi SWAT (Soil and Water Assessment Tool). SWAT merupakan model terdistribusi yang terhubung dengan SIG (Sistem Informasi Geografis) dan mengintegrasikan dengan DSS (*Decision Support System*). Tujuan penelitian ini adalah: (1) mengidentifikasi sub DAS dan penggunaan lahan yang menyebabkan permasalahan pada DAS Cisadane, dan (2) mengevaluasi implementasi perencanaan pengelolaan DAS Cisadane. Hasil analisis SWAT, ada tiga sub DAS dikategorikan sebagai sub DAS yang berpotensi menyebabkan masalah tata air dan penggunaan lahan pada DAS Cisadane, yaitu sub DAS Cisadane hilir 2, sub DAS Cisadane tengah 2, dan sub DAS Cisadane hulu 8. Sub DAS yang menjadi penyumbang *peak flow* terbesar adalah sub DAS Cianten hilir 3 dan Sub DAS Cianten hulu 3. Sedangkan sub DAS sebagai penghasil sedimentasi terbesar berturut-turut adalah sub DAS Ciampea, sub DAS Cihideung dan sub DAS Cinangneng. Evaluasi perencanaan pengelolaan DAS dengan penerapan skenario gabungan, untuk kriteria tata air menunjukkan hasil baik, tetapi untuk kriteria penggunaan lahan masih termasuk kriteria buruk. Model SWAT dapat digunakan untuk mengidentifikasi sub DAS dan unit lahan yang berpotensi menyebabkan masalah pada DAS dan mengevaluasi beberapa alternatif perencanaan pengelolaan DAS. Penggunaan model SWAT dapat menentukan perencanaan pengelolaan DAS terbaik.

Kata kunci: Manajemen pengelolaan DAS, model hidrologi dan SWAT

I. PENDAHULUAN

Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (DAS) di Indonesia telah dimulai sejak

tahun 70-an yang diimplementasikan dalam bentuk proyek reboisasi dan penghijauan. Proyek pengelolaan DAS pertama kali dimulai tahun 1973 berupa

Proyek *Solo Upper Watershed Management and Upland Development* di DAS Bengawan Solo bantuan FAO/UNDP. Proyek pengelolaan DAS yang sedang gencar dilaksanakan akhir-akhir ini oleh pemerintah yang dimulai pada tahun 2003 di bawah Departemen Kehutanan adalah Gerakan Nasional Rehabilitasi Hutan dan Lahan (GNRHL/GERHAN). Kegiatan pengelolaan DAS tersebut telah berupaya memelihara dan meningkatkan kualitas DAS di Indonesia agar DAS-DAS tersebut dapat dimanfaatkan secara berkelanjutan. Namun kenyataan di lapangan menunjukkan bahwa kondisi DAS di Indonesia semakin memburuk dan permasalahannya semakin kompleks (Murtalaksone, 2004; Wibowo, 2004).

Gambaran kondisi DAS di Indonesia yang semakin rusak dapat diamati berdasarkan jumlah DAS prioritas yang semakin bertambah dari tahun ke tahun. Pada tahun 1984 dari 458 DAS yang ada di Indonesia terdapat 20 DAS super prioritas (prioritas I) dan menjadi 37 tahun 1992. Pada tahun 1999, jumlah DAS prioritas I meningkat menjadi 60 DAS (Arsyad, 2006; Wibowo, 2004). Menurut Surat Keputusan Menteri Kehutanan (SK Menhut) tahun 2009, jumlah DAS prioritas meningkat menjadi 108 DAS.

Pada tahap pelaksanaan, pengelolaan DAS dapat diwujudkan melalui beberapa fase, yaitu fase identifikasi masalah, fase perencanaan, fase implementasi, dan fase evaluasi. Keempat fase tersebut saling berkaitan membentuk suatu siklus. Kenyataan di lapangan pelaksanaan keempat fase tersebut tidak saling berkaitan satu dengan lainnya.

Kegiatan Rehabilitasi Lahan dan Konservasi Tanah (RLKT), dalam bentuk pola RLKT dan Rencana Teknik Lapang (RTL) RLKT (diprakarsai Departemen Kehutanan sejak tahun 1984) merupakan salah satu sarana dalam fase identifikasi masalah dan fase perencanaan pada pengelolaan DAS. Pada kegiatan RLKT perencanaan pengelolaan DAS didasarkan pada tingkat erosi dan sedimentasi, ting-

kat kekritisn lahan dan tingkat kekritisn peresapan air hujan ke dalam tanah. Pendugaan ketiga parameter tersebut menggunakan model yang bersifat tunggal dan *independent* dimana parameter dan variabel *input-output* model serta besaran yang mewakilinya tidak mempunyai variabilitas keruangan (*spasial*). Pendugaan ketiga parameter tersebut tidak memperhatikan kondisi DAS secara menyeluruh terutama kondisi hidrologi DAS.

Dalam pendekatan hidrologis, DAS merupakan wilayah yang dibatasi punggung bukit (pemisahan topografi) dimana air hujan yang jatuh pada daerah tersebut akan ditampung dan kelebihan dialirkan melalui sungai kecil ke sungai utama. Menurut Black (1996) dalam Pawitan (2004), DAS sebagai satuan hidrologi lahan memiliki tiga fungsi dasar, yaitu: (1) mengumpulkan curah hujan, (2) menyimpan air hujan yang terkumpul dalam sistem-sistem simpanan air DAS, dan (3) mengalirkan air sebagai limpasan. Ketiga fungsi hidrologi DAS tersebut berinteraksi dalam suatu sistem DAS yang merupakan sistem simpanan massa air, serta hubungan masukan hujan dan keluaran limpasan DAS.

Analisis yang dapat dilakukan untuk menggambarkan kondisi hidrologi DAS adalah dengan mengandaikan proses transformasi yang terjadi mengikuti suatu aturan tertentu dimana harus dapat menggambarkan kondisi biofisik DAS dalam proses transformasi yang disusun dalam sebuah model hidrologi (Harto, 2000). Pemilihan jenis model diperlukan untuk menentukan model yang paling sesuai dengan keadaan DAS.

SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) merupakan model terdistribusi yang terhubung dengan Sistem Informasi Geografis (SIG) dan mengintegrasikan *Spatial DSS (Decision Support System)*. Model SWAT dioperasikan pada interval waktu harian dan dirancang untuk memprediksi dampak jangka panjang dari praktek pengelolaan lahan terhadap sum-

berdaya air, sedimen dan hasil *agrochemical* pada DAS besar dan kompleks dengan berbagai skenario tanah, penggunaan lahan dan pengelolaan berbeda (Pawitan, 2004). SWAT memungkinkan sejumlah proses fisik yang berbeda untuk disimulasikan pada suatu DAS.

Penggunaan model SWAT dapat mengidentifikasi, menilai, mengevaluasi tingkat permasalahan suatu DAS dan sebagai alat untuk memilih tindakan pengelolaan dalam mengendalikan permasalahan tersebut. Dengan demikian diharapkan dengan penggunaan model SWAT dapat dikembangkan beberapa skenario guna menentukan kondisi perencanaan pengelolaan DAS terbaik. Penggunaan model SWAT dapat digunakan pada beberapa fase pengelolaan DAS.

Tujuan penelitian: (1) mengidentifikasi sub DAS dan penggunaan lahan yang menyebabkan permasalahan pada DAS Cisadane, dan (2) mengevaluasi implementasi perencanaan pengelolaan DAS Cisadane berdasarkan tiga instansi yang berwenang melakukan perencanaan DAS. Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat bagi pengambil kebijakan pengelolaan DAS untuk memanfaatkan teknologi model hidrologi dalam penentuan pengelolaan DAS selanjutnya.

II. BAHAN DAN METODE

A. Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan Maret sampai Mei tahun 2009 di DAS Cisadane dengan luas 1.372,3 km². DAS Cisadane secara administrasi terletak di Provinsi Jawa Barat dan secara geografis terletak pada 106°20'50"-106°28'20" BT dan 6°0'59"-6°47'02" LS (Gambar 1).

Pada DAS Cisadane terdapat *reservoir* (bendung) dan sejumlah situ yang secara spasial letak bendung dan situ dapat dilihat pada Gambar 2.

B. Bahan dan Alat Penelitian

Bahan yang diperlukan dalam peneli-

tian ini, yaitu data primer (berupa karakteristik penggunaan lahan dan karakteristik tanah) dan data sekunder (berupa peta jaringan sungai, peta DEM (*Digital Elevation Model*), peta penggunaan lahan (*land use*), peta jenis tanah, iklim dan hidrologi DAS). Jenis data dan sumber data dapat dilihat pada Tabel 1. Alat yang digunakan adalah komputer dengan *software MapWindow45RC2*, *software MWSWAT 1.4*, *software SWAT 2.1.5 editor*, GPS dan alat tulis.

C. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan model hidrologi SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*). Kegiatan penelitian terdiri dari dua tahapan, yaitu:

1. Tahapan Pengumpulan Data

Pengumpulan data berupa data primer dan sekunder disesuaikan dengan masukan data (*input*) yang diperlukan model SWAT. Pengumpulan data primer dengan melakukan survei, tentang data karakteristik tanah, karakteristik penggunaan lahan dan karakteristik sungai. Data sekunder yang diperlukan di antaranya: data iklim (data curah hujan, mm), temperatur maksimum dan minimum (°C), radiasi matahari (MJ/m²/hari) dan kecepatan angin (m/dt), serta peta-peta (peta jaringan sungai, peta *land use*, dan peta jenis tanah).

2. Tahapan Penggunaan Model SWAT untuk Pengelolaan DAS

Tahapan ini terdiri dari penyiapan data berupa data spasial dan data atributnya agar model dapat dijalankan untuk dapat menghasilkan *output* sesuai dengan tujuan penelitian.

Penggunaan model SWAT pada penelitian ini disesuaikan dengan fase pengelolaan DAS yaitu fase identifikasi masalah, fase perencanaan, fase implementasi, dan fase evaluasi. Pengidentifikasi masing-masing fase didasarkan pada keluaran model.

Tabel (Table) 1. Jenis dan sumber data yang digunakan pada penelitian (*Type and source of data used in the research*)

No.	Jenis data (<i>Data type</i>)	Sumber data (<i>Data source</i>)	Keterangan (<i>Remark</i>)
1	Peta jaringan sungai (<i>River network map</i>) skala 1:50.000	Bakosurtanal	Peta rupa bumi Indonesia
2	Peta DEM (<i>DEM map</i>)	US Geological Survey	SRTM (<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>) untuk Z_58_14.tiff dengan resolusi spasial 90 x 90 m
3	Peta penggunaan lahan (<i>Land use map</i>) skala 1 : 250.000	BP DAS Citarum – Ciliwung	Klasifikasi citra Landsat TM (<i>Thematic Mapper</i>) path 122 row 064 dan row 065 tahun 2005
4	Peta jenis tanah (<i>Soil map</i>) skala 1 : 250.000	BP DAS Citarum – Ciliwung	
5	Data curah hujan (<i>Rainfall data</i>)	Sumberdaya air Ciliwung-Cisadane, Balai besar Ciliwung-Cisadane dan Balai Pengelolaan DAS Ciliwung-Cisadane	12 stasiun penakar curah hujan tahun 2005
6	Data temperatur (<i>Temperature data</i>)	Balai Klimatologi	2 stasiun temperatur tahun 2005
7	Data iklim (<i>Climate data</i>)	Balai Klimatologi	4 stasiun klimatologi yaitu 1 stasiun selama 5 tahun (2003-2007) dan 3 stasiun selama 5 tahun (1995-1999)
8	Data debit sungai (<i>River flow data</i>)	Balai Pengelolaan Sumberdaya Air Ciliwung-Cisadane	Stasiun Pengamatan Arus Sungai (SPAS) Batubeulah pengamatan tahun 2005
9	Data karakteristik penggunaan lahan, tanah dan sungai (<i>Characteristics data of land use, soil and river</i>)	Survei inventarisasi lahan	

Pada fase perencanaan dilakukan perencanaan pengelolaan DAS Cisadane yang merupakan gabungan rencana dari tiga instansi (Rencana RLKT DAS Cisadane yang disusun oleh Balai Pengelolaan DAS Citarum-Ciliwung tahun 2002, rencana tata ruang DAS Cisadane oleh Bappeda Bogor dan Tangerang periode tahun 2005-2025, dan rencana DAS Cisadane dalam mengatasi banjir oleh Balai Besar Pengelolaan DAS Ciliwung-Cisadane) dengan melakukan evaluasi berdasarkan analisis identifikasi sub DAS dan unit lahan yang berpotensi menyebabkan permasalahan. Secara umum rencana pengelolaan DAS Cisadane menggunakan arahan tata ruang, teknik pengelolaan tanaman dan teknik konservasi tanah disajikan pada Tabel 2.

Pada teknik pengelolaan tanaman/vegetasi berupa *agroforestry*, untuk menjalankan rencana pengelolaan tanaman pa-

da model SWAT dengan membagi persentase penutupan penggunaan lahan yang ada dengan penutupan yang telah direkomendasikan instansi perencana, seperti disajikan pada Tabel 3. Pengelolaan pada situ diarahkan pada sekitar 305 buah situ yang terdapat di DAS Cisadane dengan luas sekitar 677 ha yaitu menambah kedalaman situ sekitar dua meter, sedangkan bendungan yang dianalisis adalah Bendung Empang pada DAS Cisadane hulu dengan menambah kedalaman Bendung Empang sekitar empat meter. Selain itu terdapat penambahan dua buah DAM parit yang terdapat pada sub DAS Ciampea dengan volume tampungan 350.000 m³ dan sub DAS Cikaniki dengan volume tampungan 160.000 m³.

Pada fase implementasi dengan melakukan skenario pada model apabila seluruh perencanaan pengelolaan DAS Cisadane telah dilaksanakan.

Tabel (Table) 2. Rencana pengelolaan pada penggunaan lahan di DAS Cisadane (*Management planning of land use at Cisadane watershed*)

Penggunaan lahan (<i>Land use</i>)	Tata ruang (<i>Lay out</i>)	RLKT	
		Pengelolaan tanaman/ vegetasi (C) (<i>Cover management</i>)	Pengelolaan Tanah (P) (<i>Soil management</i>)
Sawah kondisi baik (<i>Good condition of rice field</i>)	Lahan basah	-	Teras bangku
Sawah kondisi sedang (<i>Moderate condition of rice field</i>)	Lahan basah	-	Teras bangku
Lahan tidur (<i>Wasteland</i>)	Lahan kering	<i>Agroforestry</i>	Teras gulud
Semak belukar (<i>Underbrush</i>)	Lahan kering	<i>Agroforestry</i>	Teras gulud
Ladang kondisi baik (<i>Good condition of unirrigated agricultural</i>)	Lahan kering	<i>Agroforestry</i>	Teras gulud
Ladang kondisi sedang (<i>Moderate condition of unirrigated agricultural</i>)	Lahan kering	<i>Agroforestry</i>	Teras gulud
Kebun campuran (<i>Mixed garden</i>)	Lahan kering	Kebun vegetasi permanen	Rorak/mulsa vertikal
Hutan kondisi baik (<i>Good condition of forest</i>)	Hutan lindung	Hutan lindung	Teras individu
Hutan kondisi sedang (<i>Moderate condition of forest</i>)	Hutan lindung	Hutan lindung	Teras individu
Pemukiman kondisi baik (<i>Good condition settlement</i>)	Pemukiman	<i>Agroforestry</i>	Kontrol erosi
Pemukiman kondisi sedang (<i>Moderate condition Settlement</i>)	Pemukiman	<i>Agroforestry</i>	Kontrol erosi

Sumber (Source): Hasil analisis (*Analysis result*)

Tabel (Table) 3. Rencana persentase penutupan lahan yang diterapkan pada beberapa penggunaan lahan (*Plan of land use cover presentation used on several land use*)

Penggunaan lahan (<i>Land use</i>)	Rencana persentase penutupan lahan (<i>Plan of land use cover presentation</i>) (%)				
	Ladang (<i>Agriculture</i>)	Pohon (<i>Tree</i>)	Penutup tanah (<i>Cover crop</i>)	Rumput (<i>Grass</i>)	Pemukiman 65% kedap air (<i>Settlement of 65% waterproof</i>)
Lahan tidur (<i>Wasteland</i>)	70	30			
Semak belukar (<i>Underbrush</i>)	65	15	10	10	
Ladang kondisi baik (<i>Good condition of unirrigated agricultural</i>)	75	15		10	
Ladang kondisi sedang (<i>Moderate condition of unirrigated agricultural</i>)	70	20		10	
Pemukiman kondisi baik (<i>Good condition of settlement</i>)		10			90
Pemukiman kondisi sedang (<i>Moderate condition of settlement</i>)		15			85

Sumber (Source): Hasil analisis (*Analysis result*)

Pada fase evaluasi yaitu melakukan evaluasi dari implementasi perencanaan yang telah dilakukan terhadap kinerja DAS sehingga dapat ditentukan perencanaan pengelolaan yang terbaik berdasarkan penilaian kinerja DAS.

3. Analisis Data

Analisis data pada penelitian ini lebih ditujukan pada penggunaan model SWAT yaitu *output* model disesuaikan dengan tujuan penelitian. Analisis yang dilakukan adalah Kalibrasi Model SWAT.

Kalibrasi model bertujuan agar luaran model yang digunakan hasilnya mendekati luaran DAS prototip yang diuji. Pada penelitian ini luaran yang dikalibrasi adalah debit air, dengan cara membandingkan antara hasil prediksi dengan hasil observasi dengan menggunakan kriteria statistik. Data hasil observasi berasal dari SPAS Dinas Pengelolaan Sumberdaya Air Wilayah Ciliwung-Cisadane yaitu SPAS Batu Baulah untuk pengamatan tahun 2005. Metode statistik yang digunakan adalah persentase perbedaan dari nilai observasi (D_{Vi}), koefisien determinasi (R^2) dan koefisien *Nash-Sutcliffe* (E_{NS}).

4. Analisis Fase Pengelolaan DAS dengan Menggunakan *Output Model SWAT*

Analisis fase pengelolaan DAS hanya dilakukan pada fase identifikasi masalah dan fase evaluasi. Pada fase identifikasi analisis dilakukan dengan membandingkan keluaran model SWAT di setiap *outlet* sub DAS, baik pada fase lahan (unit lahan (HRUs) dan sub DAS (*Subbasin* disingkat SUB) maupun fase air (*Main channel* disingkat RCH) dengan modifikasi kriteria dan indikator kinerja DAS berdasarkan Surat Keputusan (SK) Menteri Kehutanan nomor 52/Kpts-II/2001 pada kriteria penggunaan lahan dan tata air (Lampiran 1). Identifikasi dan evaluasi lokasi yang berpotensi menyebabkan permasalahan DAS dilakukan pada sub DAS kemudian dilanjutkan pada unit lahan pada sub DAS tersebut. Teknik analisis yang dilakukan pada fase ini dengan memberikan skor pada setiap indikator pada masing-masing kriteria. Semakin tinggi skor yang diperoleh pada setiap sub DAS dan unit lahan, dapat diidentifikasi bahwa sub DAS dan unit lahan berpotensi menyebabkan permasalahan pada DAS Cisadane.

Pada fase evaluasi, analisis yang dilakukan berdasarkan hasil skoring perbandingan keluaran model SWAT pada *outlet* DAS pada fase lahan (SUB) dan fase air (RCH) dengan modifikasi SK Menhut

nomer 52/Kpts-II/2001 tentang kriteria dan indikator kinerja DAS pada kriteria tata air (Lampiran 1). Semakin tinggi hasil skor implementasi perencanaan pengelolaan DAS yang telah dilakukan menunjukkan perencanaan kurang sempurna sehingga dapat diperoleh perencanaan pengelolaan DAS yang terbaik.

Semua data hasil analisis dikompilasi dalam bentuk tabel dan grafik yang dianalisis secara deskriptif.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pembentukan Sub DAS dan Unit Lahan (HRUs) pada DAS Cisadane Hasil Deliniasi Model

Penggunaan model SWAT untuk deliniasi DAS Cisadane secara otomatis akan diperoleh perhitungan topografi secara lengkap, peta jaringan sungai, peta batas DAS, peta sub DAS dan *outlet*. Pada proses deliniasi selain dibutuhkan peta, DEM, juga diperlukan lokasi area DAS, peta jaringan sungai DAS dan penentuan titik outlet DAS/subDAS yang dibutuhkan.

DAS Cisadane hasil deliniasi model terbagi menjadi 50 sub DAS, seperti yang ditunjukkan oleh angka 1-50 pada Gambar 3. Luas total DAS Cisadane yang terbentuk oleh deliniasi model adalah 137.134,02 ha. Luasan masing-masing sub DAS yang terbentuk hasil deliniasi dapat dilihat pada Tabel 4.

Hasil deliniasi DAS Cisadane yang terbentuk, pada bagian hilir terlihat bahwa area DAS lebih kecil yang dihasilkan oleh model jika dibandingkan bentuk DAS Cisadane (deliniasi dari BP DAS Ciliwung-Cisadane). Hal ini dikarenakan model kurang sempurna memproses area topografi yang datar, persoalan ini dapat diatasi jika menggunakan peta DEM dengan resolusi yang lebih tinggi.

Unit lahan (HRUs) yang terbentuk oleh model SWAT yang merupakan tumpang tindih dari jenis tanah, penggunaan lahan dan kemiringan lereng yang terdapat pada DAS Cisadane sejumlah 778.

B. Kalibrasi Model

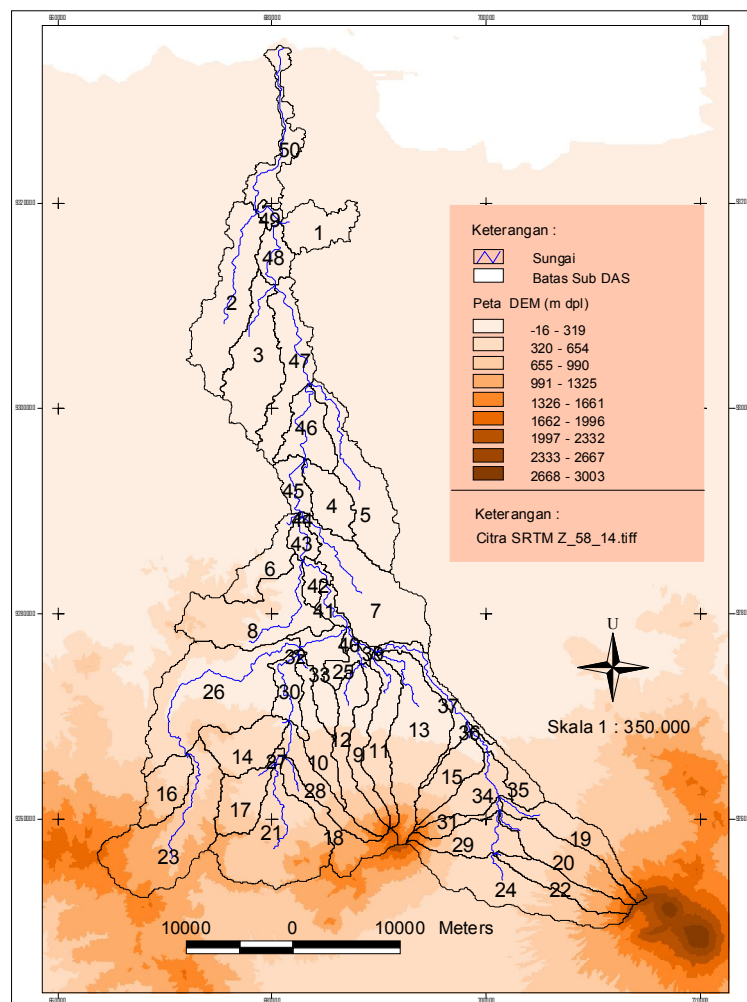
Gambar 4 menunjukkan grafik sebaran hubungan antara debit bulanan prediksi (nilai X) dan debit bulanan observasi (nilai Y) pada SPAS Batu Beulah. Hasil analisis statistik menunjukkan untuk SPAS Batu Baulah, nilai koefisien *Nash-Sutcliffe* sebesar 0,63; nilai *Dv* sebesar -13,22%; dan R^2 sebesar 0,79.

Menurut kriteria Santi *et al.* (2001) dalam *Elief* (2005), hasil prediksi model SWAT dapat dikriteriakan baik dalam memprediksi hidrologi DAS Cisadane karena mempunyai rata-rata debit hasil prediksi berada pada kisaran antara -15% sampai +15% dari rata-rata debit hasil observasi, serta nilai $E_{NS} \geq 0,5$ dan $R^2 \geq 0,6$. Dengan demikian model SWAT da-

pat digunakan untuk memprediksi hidrologi DAS pada lokasi penelitian.

C. Karakteristik Hidrologi DAS Cisadane Berdasarkan Simulasi Model

Tabel 5 menunjukkan penilaian kinerja DAS Cisadane berdasarkan hasil simulasi model SWAT dengan menggunakan kriteria dan indikator kinerja DAS berdasarkan SK Menhut nomor 52/Kpts-II/2001 (Lampiran 1.). Hasil penilaian menunjukkan kinerja DAS Cisadane yang diukur pada *outlet* yang keluar ke Laut Jawa, untuk tata air pada kriteria baik dan untuk penggunaan lahan pada kriteria buruk. Maka kinerja DAS Cisadane masuk kriteria sedang.

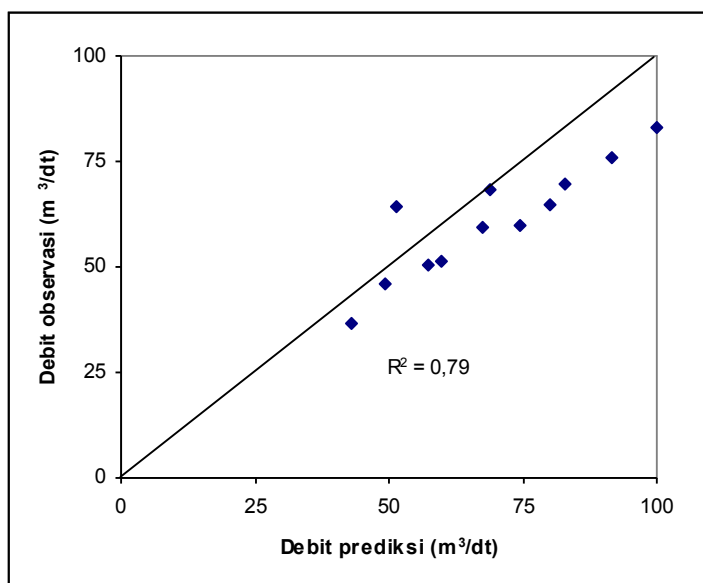


Gambar (Figure) 3. Hasil deliniasi model lokasi penelitian. Angka 1 s/d 50 menunjukkan nomor sub DAS (Result of model delineation of the study site. Figure 1 to 50 indicate number of sub watershed)

Tabel (Table) 4. Luas sub DAS pada DAS Cisadane hasil deliniasi model (*Size of sub watershed on Cisadane watershed as a result of model delineation*)

Sub DAS hasil deliniasi model (<i>Result of sub watershed of model delineation</i>)	Nama sub DAS (<i>Name of sub watershed</i>)	Luas (Area) (Ha)	% DAS (<i>Watershed</i>)
1	Cisadane bagian hilir 1	2.490,5	1,8
2	Cisadane bagian hilir 2	6.285,1	4,6
3	Cisadane bagian hilir 3	5.272,5	3,8
4	Cisadane bagian tengah 1	2.271,0	1,7
5	Cisadane bagian tengah 2	5.188,6	3,8
6	Cisadane bagian tengah 3	2.235,4	1,6
7	Cisadane bagian tengah 4	6.773,2	4,9
8	Citempuan	6.368,9	4,6
9	Cinangneng	2.139,6	1,6
10	Cibungbuang	2.310,8	1,9
11	Cihedeung	2.996,4	2,2
12	Ciampea	3.070,9	2,2
13	Cisidangbarang	6.366,4	4,6
14	Citeureup	2.947,2	2,2
15	Ciberem - Cipinanggading	2.395,6	1,7
16	Cimapar	2.228,6	1,6
17	Ciputraseda	2.463,4	1,8
18	Cikuluwung	2.709,1	1,9
19	Cikereteg	2.842,9	2,1
20	Cimunde	3.463,3	2,5
21	Cianten hulu 1	7.194,3	5,2
22	Cinagara	2.141,4	1,6
23	Cikaniki 2	7.748,5	5,7
24	Cisadane bagian hulu 1	5.465,7	3,9
25	Cisadane bagian hulu 2	798,2	0,6
26	Cikaniki 2	9.982,3	7,3
27	Cianten hulu 2	154,2	0,1
28	Cianten hulu 3	2.154,1	1,6
29	Cisadane bagian hulu 3	2.616,7	1,9
30	Cianten hilir 1	1.607,5	1,2
31	Cisadane bagian hulu 4	882,9	0,6
32	Cianten hilir 2	49,2	0,0
33	Cianten hilir 3	2.418,5	1,8
34	Cisadane bagian hulu 5	2.306,6	1,7
35	Cisadane bagian hulu 6	1.460,1	1,0
36	Cisadane bagian hulu 7	47,5	0,1
37	Cisadane bagian hulu 8	1.871,0	1,4
38	Cisadane bagian hulu 9	19,5	0,0
39	Cisadane bagian hulu 10	136,4	0,1
40	Cisadane bagian hulu 11	215,2	0,2
41	Cisadane bagian hulu 12	673,7	0,5
42	Cisadane bagian hulu 13	848,2	0,6
43	Cisadane bagian tengah 5	861,8	0,6
44	Cisadane bagian tengah 6	26,3	0,0
45	Cisadane bagian tengah 7	1.273,6	0,9
46	Cisadane bagian tengah 8	2.751,5	2,0
47	Cisadane bagian hilir 4	4.270,9	3,1
48	Cisadane bagian hilir 5	1.417,7	1,0
49	Cisadane bagian hilir 6	374,6	0,3
50	Cisadane bagian hilir 7	2.646,4	1,9
	Total	137.234,1	100,0

Sumber (Source): Hasil analisis (*Analysis result*)



Gambar (Figure) 4. Grafik sebaran debit bulanan prediksi hasil model dan debit bulanan observasi SPAS Batu Beulah (Scatter graph of montly flow as results of model prediction and SPAS Batu Beulah observation)

Tabel (Table) 5. Hasil penilaian kinerja DAS Cisadane (Assessment result of Cisadane watershed performance)

Indikator (Indicator)	Hasil penilaian (Assessment result)		Keterangan (Remark)	
	Nilai (value)	Skor (Score)	Tata air (water system)	Penggunaan lahan (Land use)
KRS	16,3	1	Baik	
Q jenis	19,2	1		
c	0,4	1		
TDS	33,3	1		
IE	5,3	3		Buruk
Kriteria (Criteria)			Sedang	

Sumber (source) : Hasil analisis (analysis result)

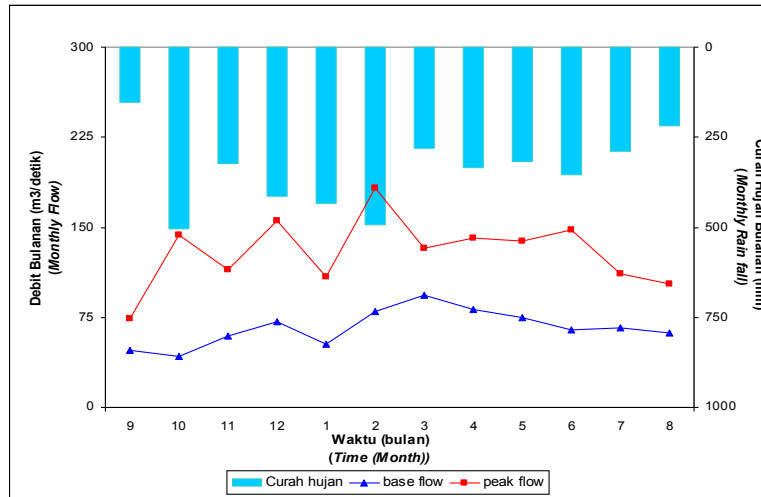
Gambar 5 menunjukkan hubungan antara curah hujan yang turun dengan debit bulanan DAS Cisadane yaitu debit maksimum (*peak flow*) dan debit minimum (*base flow*) hasil simulasi model. Pada bulan-bulan dengan curah hujan < 250 mm terlihat bahwa *base flow* yang dihasilkan tidak mengalami penurunan, sedangkan pada bulan-bulan dengan curah hujan > 250 mm tidak terlihat perubahan mencolok antara *base flow* dan *peak flow*. Hal ini menunjukkan fungsi hidrologi DAS Cisadane masih cukup baik.

Hasil simulasi model menunjukkan jumlah erosi aktual yang terjadi pada DAS Cisadane sebesar 248,9 ton/ha/th. Nilai erosi ini melebihi rata-rata erosi

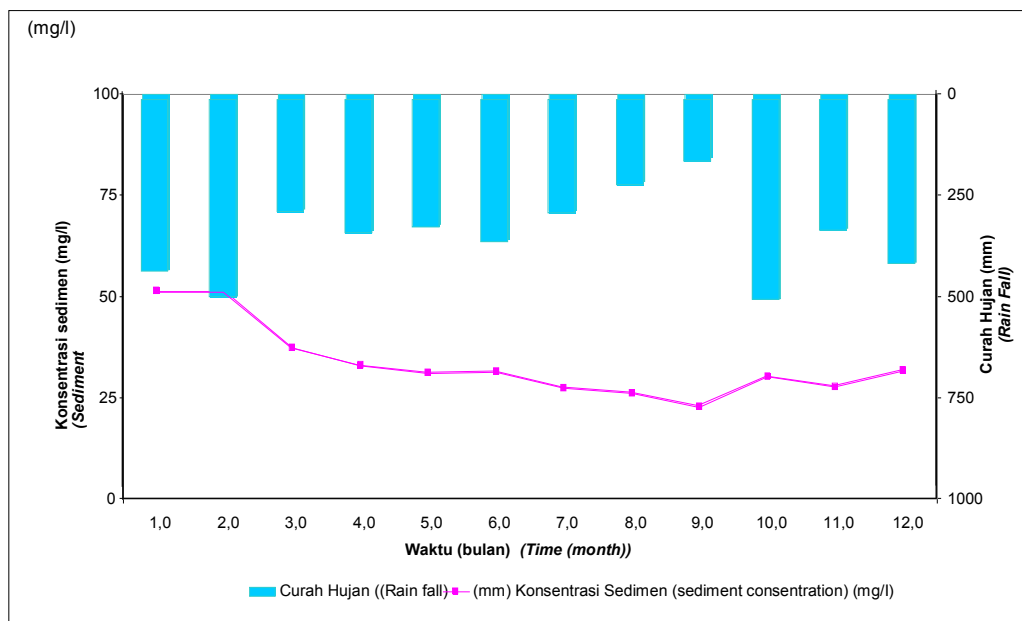
yang diperbolehkan pada DAS Cisadane sebesar 47,26 ton/ha/tahun. Gambar 6 menunjukkan konsentrasi sedimen bulanan yang dihasilkan pada DAS Cisadane jika dihitung pada *outlet* yang masuk ke Laut Jawa.

D. Identifikasi Sub DAS dan HRUs (Unit Lahan) yang Berpotensi Menyebabkan Permasalahan pada DAS Cisadane

Identifikasi dan evaluasi dilakukan pada sub DAS pada DAS Cisadane hasil deliniasi model. Sebanyak 50 sub DAS yang terbentuk dari hasil deliniasi model hanya 26 sub DAS yang dilakukan identifikasi dan evaluasi yaitu pada *outlet* masing-masing sub DAS (sub DAS 1, 2, 3,



Gambar (Figure) 5. Debit bulanan DAS Cisadane hasil simulasi model (Montly flow of Cisadane Watershed from model simulation result)



Gambar (Figure) 6. Konsentrasi sedimen pada DAS Cisadane (Sediment consentration at Cisadane watershed)

4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 26, 28, 33 dan 37). Identifikasi dan evaluasi yang dilakukan hanya pada sub-DAS yang berpotensi menyebabkan permasalahan dengan membandingkan hasil simulasi model SWAT di setiap outlet sub DAS dengan modifikasi kriteria dan indikator kinerja DAS berdasarkan SK Menhut No. 52/Kpts-II/2001 pada kriteria penggunaan lahan dan tata air (Lampiran1).

Hasil identifikasi sub DAS yang berpotensi menyebabkan masalah DAS Cisadane dengan skor tertinggi berdasarkan

kriteria penggunaan lahan dan tata air adalah sub DAS 2, 5, dan 37. Sub DAS 2 mempunyai nilai KRS = 13,3 (baik), Q jenis = 28,5 (baik), c = 0,6 (sedang), dan nilai TDS = 3546 (buruk), sedangkan nilai IE yaitu 5,41 dalam kriteria buruk. Berdasarkan kriteria tata air, sub DAS 2 dikategorikan bermasalah dikarenakan hasil *surface flow* yang cukup besar dan kandungan sedimen terlarut yang tinggi. Pada Gambar 7 terlihat kontribusi masing-masing sub DAS pada *surface flow* di DAS Cisadane. sub DAS 2 masuk pada kategori yang menghasilkan aliran cepat

terbesar (2539-3024 mm/tahun). Pada Gambar 8 terlihat sub DAS 2 termasuk pada kategori rendah dalam menghasilkan *base flow* (937-1249 mm/th).

Pada sub DAS 5 berdasarkan hasil analisis mempunyai nilai TDS = 6926, termasuk kriteria buruk dan nilai $c = 0,5$ (sedang). Berdasarkan nilai ini maka sub DAS 5 termasuk sub DAS yang menyebabkan permasalahan pada DAS Cisadane dari kriteria tata air, sedangkan nilai KRS = 21,3 dan Q jenis = 32,3 termasuk kriteria baik. Pada kriteria penggunaan lahan, nilai IE = 8,4 termasuk kriteria buruk, sub DAS 37 mempunyai nilai KRS = 7,2 (baik), Q jenis = 225,2 (buruk), $c = 0,5$ (sedang) dan nilai TDS = 48,8 (baik), sedangkan nilai IE yaitu 8,5 dalam kriteria buruk. Berdasarkan kriteria tata air, sub DAS 2 dikategorikan bermasalah dikarenakan Q jenis yang besar dan hasil *surface flow* yang cukup besar. Kriteria penggunaan lahan, sub DAS ini menghasilkan erosi yang cukup besar 375,9 ton/ha/th. Nilai erosi aktual ini cukup besar bila dibandingkan nilai erosi yang diperbolehkan pada sub DAS 2 yaitu 44,3 ton/ha/th. Nilai Q jenis yang cukup besar perlu mendapatkan perhatian khusus dikarenakan sub DAS ini menjadi penyumbang maksimum flow (*peak flow*).

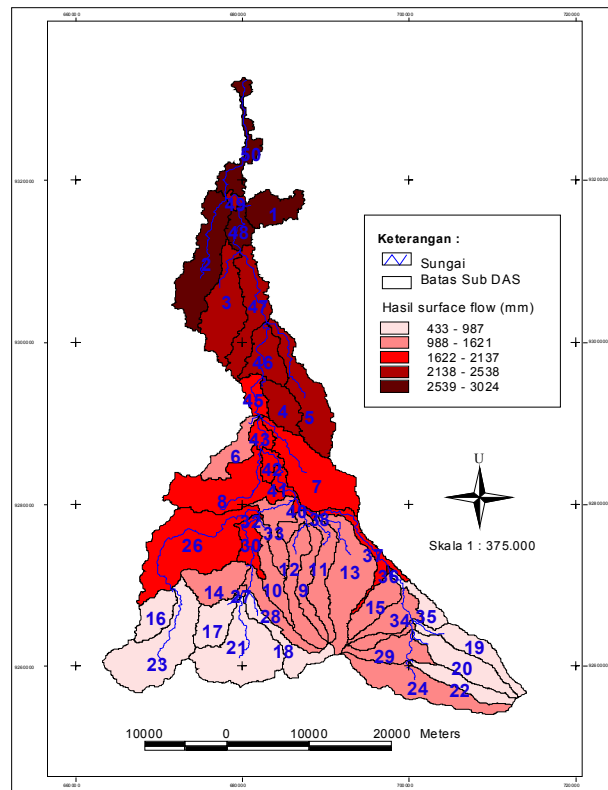
Untuk sub DAS 33 (sub DAS Cianten hilir 3) dan sub DAS-28 (sub DAS Cianten hulu 3) yang mempunyai nilai Q jenis sekitar 335,1 (buruk) dan 126,9 (sedang) merupakan penyumbang *peak flow* terbesar pada DAS Cisadane. Beberapa sub DAS yang perlu diwaspadai sebagai penghasil sedimentasi terbesar berdasarkan nilai TDS dan IE berturut-turut adalah sub DAS 12 (sub DAS Ciampea), sub DAS 11 (sub DAS Cihideung), sub DAS 9 (sub DAS Cinangneng). Berdasarkan hasil analisis pada beberap sub DAS tersebut, maka nilai TDS untuk sub DAS 12 = 20.290 (buruk) dan IE = 20,8 (buruk), sub DAS 11 mempunyai nilai TDS = 10750 (buruk) dan IE = 11,2 (buruk), sub DAS 9 mempunyai nilai TDS = 15240 (buruk) dan IE = 16,3 (buruk).

Pada sub DAS 2, unit lahan yang berpotensi menyebabkan masalah adalah unit lahan lima (5) dan tujuh (7). Unit lahan 5 merupakan penggunaan lahan pemukiman dengan pengelolaan baik yang berada di atas lahan dengan kemiringan lereng $> 40\%$, sedangkan unit lahan 7 merupakan penggunaan lahan pemukiman dengan pengelolaan sedang yang berada pada kemiringan lereng $> 40\%$. Hasil analisis untuk unit lahan 5 dan 7 untuk nilai c adalah 0,65 dan nilai IE untuk unit lahan 5 yaitu 94,78 dan unit lahan 7 adalah 94,73.

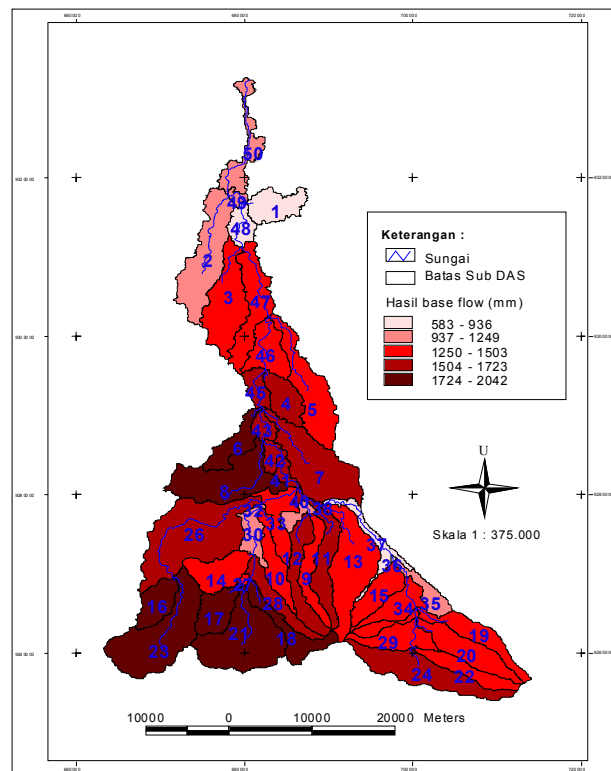
Unit lahan 26, 27, 29, dan 30 merupakan unit lahan yang berpotensi menyebabkan masalah pada sub DAS 5. Unit lahan 26 dan 29 merupakan penggunaan lahan pemukiman dengan pengelolaan baik yang berada di atas lahan dengan kemiringan lereng $> 40\%$, sedangkan unit lahan 27 dan 30 merupakan penggunaan lahan pemukiman dengan pengelolaan baik pada kemiringan lereng 8-15%. Hasil analisis nilai c untuk unit lahan 26 dan 29 adalah 0,65 dan 0,64, nilai IE yaitu 74,66 dan 57,18. Untuk unit lahan 27 dan 30 hasil analisis nilai c yaitu 0,65 dan 0,64, sedangkan nilai IE = 5,20 dan 4,09.

Untuk sub DAS 37, unit lahan yang berpotensi menyebabkan masalah adalah 598, 599, 600, 601, 602, 603, 605, 606, dan 607. Unit-unit lahan ini merupakan penggunaan lahan pemukiman dengan manajemen pengelolaan sedang dan baik pada kemiringan lereng 0-8, 15-25, dan $> 40\%$. Nilai c untuk unit-unit lahan ini berkisar 0,61-0,62 dan nilai IE berkisar antara 1 sampai 58.

Unit lahan 542, 543, 544, 545, 548, 552, 553, 554, 555, 556, dan 557 merupakan unit lahan yang berpotensi menyebabkan masalah pada sub DAS 33. Unit lahan 542, 543, 544, 545, 552, 553, dan 554 merupakan penggunaan lahan ladang dengan pengelolaan sedang pada kemiringan lereng $> 8\%$, sedangkan 555, 556 dan 557 merupakan unit lahan pada penggunaan lahan kebun campuran pada kemiringan lereng $> 8-15\%$.



Gambar (Figure) 7. Kontribusi masing-masing sub DAS untuk *surface flow* hasil simulasi model (*Model simulation result of each sub watershed contribution for surface flow*)



Gambar (Figure) 8. Kontribusi masing-masing sub DAS untuk *base flow* hasil simulasi model (*Model simulation result of each sub-watershed contribution for base flow*)

Pada sub DAS 28, unit lahan yang berpotensi menyebabkan masalah adalah 463-471 dan 475 merupakan unit lahan dengan penggunaan lahan ladang dengan pengelolaan sedang dan baik pada kemiringan lereng > 8%.

Hasil analisis, unit lahan pada sub DAS 12 yang berpotensi menyebabkan masalah adalah 149 dan 152 merupakan unit lahan pada kemiringan > 40% dengan penggunaan lahan ladang dengan pengelolaan sedang.

Unit lahan 122 dan 125 merupakan unit lahan yang berpotensi menyebabkan masalah pada sub DAS 11, terletak pada kemiringan > 40% dengan penggunaan lahan ladang dengan pengelolaan sedang.

Pada sub DAS 9 unit lahan yang berpotensi menyebabkan masalah adalah unit lahan 90, 98, 99, 100, 101, dan 102. Unit lahan 90 merupakan unit lahan pada kemiringan > 40% dengan penggunaan lahan ladang dengan pengelolaan sedang. Unit lahan 98, 99, 100, 101, dan 102 adalah unit lahan dengan penggunaan lahan pemukiman dengan pengelolaan baik pada kemiringan lereng > 8%.

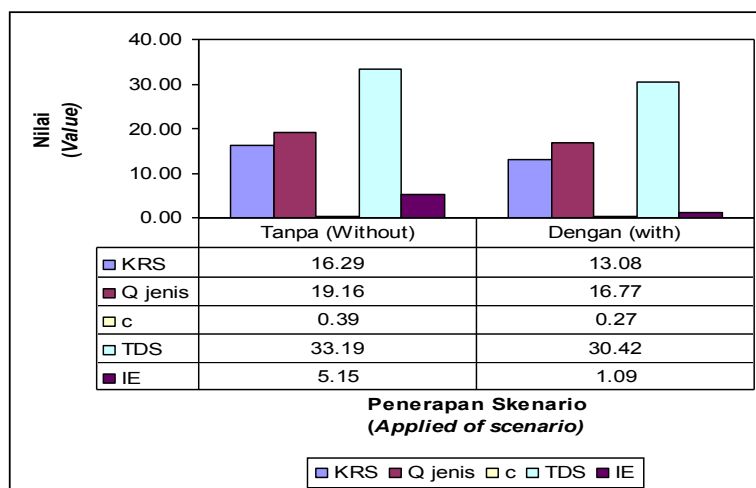
E. Evaluasi Perencanaan Pengelolaan DAS Cisadane

Penilaian kinerja DAS Cisadane hasil

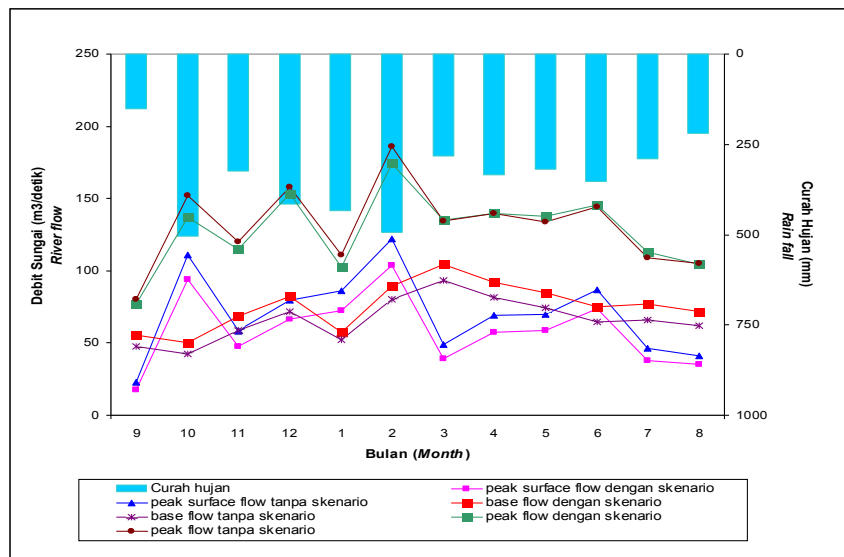
penerapan rencana pengelolaan DAS gabungan dari tiga instansi, menunjukkan hasil yang jauh lebih baik dibandingkan hasil penilaian kinerja tanpa penerapan rencana pengelolaan. Nilai KRS, Q jenis, c, dan TDS ternyata lebih kecil dibandingkan hasil tanpa penerapan skenario (Gambar 9). Jika dilihat dari nilai IE untuk hasil penerapan skenario mengalami penurunan yang sangat besar dibandingkan hasil tanpa penerapan skenario. Dengan demikian agar perencanaan pengelolaan DAS dapat meningkatkan kinerja DAS perlu adanya kerjasama antar instansi yang berwenang, sehingga diperlukan kelembagaan pengelolaan DAS.

Secara umum hasil evaluasi penerapan rencana pengelolaan DAS berdasarkan penerapan skenario untuk kriteria tata air menunjukkan hasil baik, tetapi untuk kriteria penggunaan lahan masih masuk kriteria buruk. Dengan demikian perencanaan pengelolaan DAS perlu diperbaiki dalam pengendalian erosi.

Terlihat pada Gambar 10 hasil *base flow* penerapan perencanaan jauh lebih tinggi dibandingkan hasil tanpa penerapan rencana pengelolaan DAS, sedangkan *peak surface flow* dan *peak flow* penerapan perencanaan menurun dibandingkan hasil tanpa penerapan rencana.



Gambar (Figure) 9. Hasil analisis penilaian kinerja DAS Cisadane dengan dan tanpa penerapan skenario (Assessment analysis result of Cisadane watershed performance with and without applied of scenario)



Gambar (Figure) 10. Hasil simulasi model *peak surface flow*, *base flow* dan *peak flow* (Model simulation result of surface flow, base flow and peak flow)

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

1. Penilaian kinerja DAS Cisadane dengan menggunakan kriteria dan indikator kinerja DAS berdasarkan SK Menhut Nomor 52/Kpts-II/2001 menunjukkan kinerja DAS Cisadane cukup baik.
2. Identifikasi sub DAS pada DAS Cisadane yang berpotensi menyebabkan masalah pada tata air dan penggunaan lahan berdasarkan SK Menhut Nomor 52/Kpts-II/2001, yaitu sub DAS Cisadane hilir 2, sub DAS Cisadane tengah 2, dan sub DAS Cisadane hulu 8. Sub DAS yang berpotensi menyumbang *peak flow* terbesar adalah sub DAS Cianten hilir 3 dan Sub DAS Cianten hulu 3. Sub DAS sebagai penghasil sedimentasi terbesar berturut-turut adalah sub DAS Ciampea, sub DAS Cihideung, dan sub DAS Cinangneng.
3. Unit lahan yang perlu mendapat perhatian pada sub DAS yang berpotensi menyebabkan masalah pada tata air dan penggunaan lahan, yaitu penggunaan lahan pemukiman kemiringan > 8%. Pada sub DAS penyumbang *peak flow* terbesar yaitu unit lahan dengan

penggunaan ladang dan kebun campuran kemiringan lereng > 8%. Sub DAS yang berpotensi menyumbang erosi terbesar yaitu penggunaan lahan ladang kemiringan lereng > 40% dan pemukiman kemiringan > 8%.

4. Evaluasi perencanaan pengelolaan DAS dengan penerapan skenario gabungan rencana dari tiga instansi, untuk kriteria tata air menunjukkan hasil baik, tetapi untuk kriteria penggunaan lahan masih masuk kriteria buruk. Oleh karena itu perencanaan pengelolaan DAS perlu diperbaiki dalam pengendalian erosi.

B. Saran

Model hidrologi SWAT dapat digunakan sebagai salah satu alternatif alat dalam perencanaan pengelolaan DAS. Penggunaan model hidrologi SWAT dalam perencanaan pengelolaan DAS dapat mengidentifikasi, menilai dan mengevaluasi tingkat permasalahan DAS dan dapat digunakan sebagai alat untuk memilih tindakan pengelolaan dalam mengendalikan permasalahan tersebut. Oleh karena itu dengan penggunaan model hidrologi SWAT dapat dikembangkan skenario tindakan pengelolaan secara sistematis untuk menentukan kondisi perencanaan pengelolaan DAS terbaik.

DAFTAR PUSTAKA

- Arnold, J. G., & Kiniry, J. W. (2005). *Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation (version 2005)*. *Agricultur Research Service US. Texas*. Retrieved Oktober 31, 2008, from <http://www.http.brc.tamus.edu/swat/document.html>.
- Arnold, J. G., Kiniry, J. R., & Williems, J. R. (2005). *Soil and water assessment tool theoretical documentation (version 2005)*. *Agricultur Research Servic US*. Retrieved Oktober 31, 2008, from <http://www.http.brc.tamus.edu/swat/document.html>
- Arsyad, S. (2006). *Konservasi tanah dan air*. Bogor: IPB Press.
- Balai Pengelolaan DAS Ciliwung-Cisadane. (2002). *RTL RLKT DAS Cisadane*. Jakarta: Direktorat Jenderal RLPS. Departemen Kehutanan. (tidak dipublikasikan).
- BAPPEDA Kabupaten Bogor. (2005). *RTRW Kabupaten Bogor. Subid Tata Ruang dan Lingkungan Hidup*. Bogor: BAPPEDA Kabupaten Bogor. (tidak dipublikasikan).
- BAPPEDA Kabupaten Tangerang. (2005). *RTRW Kabupaten Tangerang. Subid Tata Ruang dan Lingkungan Hidup*. Tangerang: BAPPEDA Kabupaten Tangerang. (tidak dipublikasikan).
- Harto, S. (2000). *Hidrologi teori masalah penyelesaian*. Yogyakarta: Nafiri Offset.
- Luis, F. L. (2007). *Map window interface for SWAT (MWSWAT)*. Retrieved Mei 5, 2008, from <http://www.waterbase.org/document.html>
- Murtalaksono, K., & Hidayat, Y. (2004). Kerangka logis (logframe) pengelolaan daerah aliran sungai. *Prosiding Seminar Degradasi Lahan dan Hutan. Masyarakat Konservasi Tanah dan Air Indonesia*. Universitas Gadjah Mada dan Departemen Kehutanan.
- Pawitan, H. (2004). Aplikasi model erosi dalam perspektif pengelolaan daerah aliran sungai. *Prosiding Seminar Degradasi Lahan dan Hutan. Masyarakat Konservasi Tanah dan Air Indonesia*. Universitas Gadjah Mada dan Departemen Kehutanan.
- Wibowo, S. (2004). Masalah degradasi lahan dan upaya rehabilitasi hutan dan lahan. *Prosiding Seminar Degradasi Lahan dan Hutan. Masyarakat Konservasi Tanah dan Air Indonesia*. Universitas Gadjah Mada dan Departemen Kehutanan.

Lampiran (Appendix) 1. Kriteria dan indikator analisis (Criteria and indicator of analysis)

Kriteria (Criteria)	Indikator (Indicator)	Deskripsi (Description)	Verifikasi (Verification)	Metode Perhitungan (Calculation method)	Keterangan (Explanation)	Skor (Score)
Tata air (water management)	Koefisien regim sungai (KRS)	Perbandingan antara debit aliran sungai maksimum (Qmak) dan debit aliran sungai minimum (Qmin)	- Debit aliran sungai maksimum - Debit aliran sungai minimum	Rasio perbandingan antara Qmak dan Qmin tahunan	-Baik (KRS<50)	- 1
					-Sedang (50<KRS<120)	- 2
	-Buruk (KRS>120)	- 3				
	Debit jenis	Perbandingan antara debit aliran sungai maksimum (Qmak) dan luas sub-DAS. Untuk menunjukkan potensi banjir (m ³ /s/100 km ²)	- Debit aliran sungai maksimum - Luas sub-DAS (100km ²)	Rasio perbandingan antara Qmak tahunan dan A	-Baik (Qmak/A<58)	- 1
					-Sedang (58<Qmak/A<150)	- 2
	-Buruk (Qmak/A >150)	- 3				
	Koefisien aliran permukaan (c)	Perbandingan antara jumlah hujan yang menjadi aliran permukaan terhadap total hujan yang jatuh pada wilayah DAS. Untuk menunjukkan potensi	- Jumlah CH persatuan wilayah DAS - Jumlah aliran permukaan per/satuan wilayah DAS	Rasio perbandingan antara jumlah aliran permukaan dan jumlah CH	-Baik (c<0,5)	- 1
					-Sedang (0,5<c<0,75)	- 2
	-Buruk (c>0,75)	- 3				
	Total dissolve suspensi (TDS)	Konsentrasi sedimen yang terlarut (mg/l)			-Baik (TDS<250)	- 1
					-Sedang (250<TSD<400)	- 2
					-Buruk (TSD>400)	- 3
Penggunaan lahan (Land use)	Indeks erosi (IE)	Perbandingan antara erosi aktual tahunan dengan erosi yang diperbolehkan (T)	- Jumlah erosi aktual persatuan wilayah tahunan (ton/ha/tahun) - Erosi yang diperbolehkan menurut metode	Rasio perbandingan antara erosi aktual tahunan dengan erosi yang	-Baik (IE ≤ 0,80)	- 1
					-Sedang (0,80 ≤ IE ≤ 1)	- 2
					-Buruk (IE > 1)	- 3

Sumber (Source) : SK Menhut nomer 52/Kpts-II/2001