

ANALISIS RESPON HIDROLOGI DAN SIMULASI TEKNIK KONSERVASI TANAH DAN AIR SUB DAS CIMANUK HULU

Analysis of Hydrology Response and Simulation of Soil and Water Conservation Engineering in Upstream Cimanuk Sub Watershed

Gilang Munggaran^{1)*}, Yayat Hidayat²⁾, Surya Darma Tarigan²⁾ dan Dwi Putro Tejo Baskoro²⁾

¹⁾ Alumni Program Studi Ilmu Tanah, Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor, Jl. Meranti Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680

²⁾ Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian IPB, Jl. Meranti Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680

ABSTRACT

Cimanuk Watershed is a priority catchment in West Java Province. The objective of study is to analyze various land use scenarios to improve base flow and lateral flow. The analysis use SWAT Hydrology model. The study showed that model has a good performance in predicting flow discharge produced NSE 0.56 (satisfactorily) and R² 0.70. There are four scenarios to be analyzed. The best base flow and lateral flow analyses is from the first scenario with soil and water conservation techniques. The scenario resulted the river regime coefficient by 78 (moderat), reduce direct runoff by 40.76% and increase lateral by 536.95 mm.

Keywords: Base flow, landuse, lateral flow, soil and water conservation techniques, SWAT model

ABSTRAK

DAS Cimanuk hulu merupakan salah satu DAS yang prioritas di Jawa Barat. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis berbagai skenario penggunaan lahan untuk memperbaiki aliran dasar dan aliran lateral. Analisis menggunakan Model Hidrologi SWAT. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kinerja model mampu memprediksi debit aliran dengan nilai NSE 0.56 (memuaskan) dan R² 0.70. Ada empat skenario yang akan dianalisis. Aliran dasar dan aliran lateral terbaik berasal dari skenario pertama dengan penerapan teknik Konservasi Tanah dan Air. Skenario tersebut menghasilkan koefisien rezim sungai sebesar 78 (sedang), mengurangi aliran permukaan (*direct runoff*) sebesar 40.76% dan meningkat lateral sebesar 536.95 mm.

Kata kunci: Aliran dasar, penggunaan lahan, aliran lateral, teknik konservasi tanah dan air, model SWAT

PENDAHULUAN

Sub DAS Cimanuk Hulu merupakan bagian DAS Cimanuk yang memiliki peran sebagai sumber air utama untuk seluruh wilayah di dalam DAS Cimanuk. Kondisi lingkungan biofisik Sub DAS Cimanuk Hulu saat ini telah rusak disebabkan oleh permasalahan sosial-ekonomi dan kondisi biofisik. Permasalahan sosial-ekonomi mencakup lemahnya penegakan hukum terhadap praktik penebangan liar, kurangnya koordinasi lembaga pengelolaan DAS dengan seluruh *stakeholder* yang terkait, dan kurangnya kesadaran masyarakat dalam pemeliharaan lingkungan (BBWS CC, 2010). Permasalahan tersebut menyebabkan timbulnya berbagai permasalahan kondisi biofisik Sub DAS Cimanuk Hulu diantaranya: terjadinya perubahan penggunaan lahan, tingginya fluktuasi debit aliran, erosi, sedimentasi, banjir di musim hujan dan kekeringan di musim kemarau.

Penggunaan lahan di DAS Cimanuk sebagian besar merupakan lahan pertanian yang mencakup kawasan seluas 2,736 km² atau meliputi 66%, yang terdiri dari luas persawahan (41%), perkebunan (8%), dan ladang (17%). Luasan hutan/semak 1,044 km² atau 29% dari luas DAS (kawasan perdagangan, dan industri (BBWS CC, 2010).

Berdasarkan data tersebut luasan kawasan hutan kurang dari 30% atau di bawah ketentuan UU No 41 Tahun 1999 tentang Kehutanan, maka perlu dilakukan perluasan kawasan hutan di bagian Hulu DAS Cimanuk. Berkurangnya luasan kawasan hutan menyebabkan berkurangnya daerah resapan air. Permasalahan utama Sub DAS Cimanuk Hulu adalah tingginya fluktuasi debit. Sub DAS Cimanuk Hulu memiliki potensi erosi yang tinggi, dimana hasil analisis menyatakan besar laju erosi yang terjadi adalah 13 juta ton tahun⁻¹ dan rata-rata sedimentasi sebesar 57 m³ ha⁻¹ tahun⁻¹ (BPDAS CC, 2013).

Faktor utama penyebab menurunnya respon hidrologi DAS Cimanuk Hulu adalah perubahan penggunaan lahan. Perubahan penggunaan lahan dan kondisi biofisik lingkungan sangat mempengaruhi fungsi DAS sebagai penghasil air dan pengatur tata air. Perubahan penggunaan lahan menentukan besarnya fluktuasi debit sungai dan sedimentasi (Rahman, 2009). Oleh karena itu, perlu dilakukan pengelolaan DAS berdasarkan analisis perubahan penggunaan lahan dan respon hidrologi Sub DAS Cimanuk Hulu. Perencanaan pengelolaan lahan di Sub DAS Hulu perlu dilakukan secara lestari dan *sustainable*. Berbagai usaha telah dilakukan dan direncanakan dalam rangka memperbaiki kualitas lingkungan biofisik DAS

Cimanuk seperti program pemerintah di bawah Departemen Kehutanan, serta program Rehabilitasi Hutan dan Lahan (RHL) dari tahun 2008-2012 oleh BPDAS Cimanuk-Citanduy. Teknik konservasi secara vegetatif (*alley cropping*) dilakukan untuk memperbaiki lahan kritis di Hulu Cimanuk (Mulyono, 2010). Pemilihan teknik KTA yang tepat dapat mengembalikan fungsi DAS Cimanuk secara optimal.

Simulasi perencanaan pengelolaan lahan DAS dapat menggunakan model hidrologi *Soil and Water Assesment Tool* (SWAT). SWAT merupakan salah satu model hidrologi yang sudah banyak digunakan dalam simulasi hidrologi dan perencanaan pengelolaan DAS. Model hidrologi ini mampu mengkaji karakteristik dan respon hidrologi suatu DAS yang luas, jangka waktu yang panjang dan simulasi teknik KTA yang sesuai dengan biosfer DAS. Model SWAT sudah banyak diaplikasikan dalam perencanaan pengelolaan DAS di Indonesia. Menurut Junaidi dan Tarigan (2011) menyatakan bahwa penggunaan model hidrologi SWAT sebagai alternatif dalam menentukan kondisi perencanaan pengelolaan DAS terbaik. Pada penelitian ini Model SWAT digunakan untuk mengetahui respon hidrologi dari Sub DAS Cimanuk Hulu berdasarkan penggunaan lahan *eksisting*, perencanaan pengelolaan lahan Sub DAS Cimanuk Hulu dan teknik KTA yang optimum. Model SWAT dapat digunakan untuk mengetahui pengaruh perubahan penggunaan lahan terhadap kondisi hidrologi di Sub DAS Cimanuk Hulu (Ridwansyah *et al.*, 2013).

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis model SWAT dalam memprediksi debit aliran sungai dan teknik KTA pengelolaan lahan yang baik untuk menurunkan aliran permukaan di Sub DAS Cimanuk Hulu..

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilakukan pada bulan Mei 2015 sampai Desember 2015 di Sub DAS Cimanuk Hulu yang dibatasi oleh *outlet* leuwidaun. Sub DAS Cimanuk Hulu (107°44'0"-108°12'0"BT dan 6°50'0"-7°26'0"LS) terletak dari ujung Kecamatan Cikajang sampai Tomo, tetapi untuk wilayah penelitian dibatasi sampai daerah Leuwidaun. Sub DAS Cimanuk Hulu memiliki luas 145,677 ha. Analisis sifat fisik tanah dilakukan di Laboratorium Konservasi Tanah dan Air, serta analisis kimia tanah di Laboratorium Kimia Tanah, Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, IPB, Bogor.

Alat yang digunakan adalah komputer dengan *software* ArcGIS 10.1, ArcSWAT versi tahun 2012, *Microsoft Office* 2007, *Envi* 5.1, *Global Positioning System* (GPS), *Ring sampler* dan alat-alat lainnya yang diperlukan untuk pengambilan sampel fisik tanah dan analisis kimia tanah di laboratorium. Bahan penelitian merupakan data yang dikumpulkan dari studi pustaka dan pihak instansi pemerintah meliputi: 1) data peta tanah dengan skala 1:250,000; 2) peta penggunaan lahan dari interpretasi citra Landsat; 3) Data iklim periode tahun 2004-2015 dari stasiun iklim Jatiwangi Majalengka dan Geofisika Bandung; dan 4) data debit harian untuk *outlet* leuwidaun (periode tahun 2009-2014).

Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dalam tiga tahapan, tahapan pertama yaitu pengumpulan data sekunder. Data ini diperlukan dalam pembuatan *database* untuk input model. Tahap kedua yaitu pengambilan dan analisis contoh tanah untuk input data tanah pada model SWAT. Tahap ketiga adalah menjalankan simulasi model SWAT yang terbagi dalam beberapa tahapan tersendiri yaitu: (1) deliniasi DAS; (2) analisis *Hydrology Respones* Unit (HRU); (3) input data iklim; (4) membangun data iklim; (5) *running* Model SWAT; (6) kalibrasi dan validasi; (7) simulasi parameter hidrologi SWAT.

Metode statistik yang digunakan dalam melakukan kalibrasi adalah koefisien determinasi (R^2) dan *Nash-Sutcliffe Efficiency* (NSE). Koefisien determinasi merupakan nilai kuadrat dari koefisien korelasi berdasarkan Bravais-Pearson. Nilai R^2 menggunakan rumus:

$$R^2 = \frac{(X - \bar{X})^2 - (X - Y)^2}{(X - \bar{X})^2}$$

dimana X adalah data observasi, \bar{X} adalah data observasi rata-rata, dan Y adalah data simulasi dari model. Pada dasarnya nilai $R^2 \geq 0.5$ model SWAT diasumsikan dapat digunakan (Moriassi *et al.*, 2007). Adapun Penggunaan persamaan dari model efisiensi *Nash-Sutcliffe Efficiency* (NSE) direkomendasikan oleh *The American Society of Civil Engineers* dalam menguji keakuratan output model. Adapun persamaannya adalah sebagai berikut:

$$NSE = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{sim})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - \bar{Y}^{obs})^2} \right]$$

dimana Y_i^{obs} merupakan data observasi ke-i, Y_i^{sim} merupakan data simulasi ke-i, \bar{Y}^{obs} merupakan data observasi rata-rata, n merupakan jumlah observasi (Tabel 1).

Tabel 1. Kategori nilai efisiensi model dengan NSE

No	Nilai NSE	Kategori
1	$0.75 \leq NSE \leq 1.00$	sangat baik
2	$0.65 \leq NSE \leq 0.75$	Baik
3	$0.50 \leq NSE \leq 0.65$	memuaskan
4	$NSE \leq 0.50$	tidak memuaskan

Data observasi yang digunakan untuk kalibrasi dan validasi adalah data pada 1 Januari-31 Desember 2010 dan 2014 dari *outlet* Leuwidaun. Jika hasil kalibrasi dapat diterima, maka selanjutnya dilakukan validasi. Setelah hasil validasi diterima, kemudian menerapkan skenario pengelolaan lahan dengan mensimulasikan parameter hidrologi yang telah ditentukan.

Rancangan Skenario Teknik KTA dalam Pengelolaan Lahan DAS

Skenario 1 : Penggunaan lahan berdasarkan Peta RTRW Provinsi Jawa Barat dengan menerapkan Teknik KTA

Skenario ini diterapkan berdasarkan pola ruang peta RTRW Jawa Barat tahun 2005-2025 dengan menerapkan teknik KTA. Peta RTRW merupakan arah kebijakan tata ruang yang sifatnya menyeluruh dan mengatur arahan pengembangan pusat-pusat kegiatan di suatu wilayah. Penerapan teknik KTA pada subbasin yang memiliki koefisien *runoff* >0.4 (bermasalah) yaitu subbasin 3, 4, 8, 9, 14, 16, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, dan 25 (Tabel 2). Adapun penerapan teknik KTA yang dilakukan pada subbasin tersebut adalah metode KTA vegetatif seperti penerapan *agroforestry* pada areal pertanian lahan kering kemiringan 0-25% dan metode KTA secara mekanik *countouring* pada kemiringan 25-40%. Penggunaan lahan hutan konservasi dan hutan rakyat pada kemiringan >40% diterapkan reboisasi. Parameter hidrologi SWAT yang diterapkan diantaranya adalah CN2 (bilangan kurva aliran permukaan), CONT_CN (bilangan kurva aliran permukaan countouring), CONT_P (nilai P USLE), dan CONT_C (faktor C USLE).

Skenario 2 : Penggunaan Lahan berdasarkan Peta RHL

Skenario ini diterapkan berdasarkan penerapan rehabilitasi lahan dari BPDAS Cimanuk-Citanduy. Peta RHL merupakan peta yang berisi tentang informasi penerapan rehabilitasi lahan dalam pengelolaan DAS yang dilakukan oleh BPDAS pada lahan kritis di seluruh penggunaan lahan Sub DAS Cimanuk Hulu, kecuali pemukiman.

Jadi peta penggunaan lahan eksisting di *overlay* dengan peta RHL Sub DAS Cimanuk Hulu, sehingga disesuaikan penggunaan lahannya. Penerapan teknik KTA aeral bambu dan PLBTH pada subbasin 9, 15, 19, 21, 22, 23, 24, dan 25. *Agroforestry* pada subbasin 6, 7, dan 25. Hutan kota pada subbasin 3, 4, 7, 8, 13 dan 14. Parameter hidrologi SWAT yang diterapkan diantaranya adalah CN2 (bilangan kurva aliran permukaan).

Skenario 3 : Penerapan Teknik KTA berdasarkan Potensi Erosi

Skenario ini diterapkan berdasarkan penggunaan lahan eksisting dengan mengaplikasikan teknik KTA pada beberapa subbasin yang memiliki potensi erosi yang besar yaitu subbasin 14, 15, 16, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, dan 25.

Salah satu indikatornya adalah subbasin yang memiliki nilai hasil sedimen (SYLD) > 15 ton ha⁻¹ dan nilai aliran permukaan (*runoff*) > 1000 mm. Hal ini diindikasikan bahwa subbasin yang memiliki hasil sedimen dan koefisien *runoff* tinggi berpotensi terjadinya erosi permukaan (*sheet erosion*). Adapun teknik KTA yang diterapkan pada subbasin tersebut yaitu teknik KTA secara metode vegetatif seperti penerapan *agroforestry* pada areal pertanian lahan kering dengan kemiringan 0-25%, pertanian lahan kering campur kemiringan 0-25%, semak dengan kemiringan 0-25%. Penerapan teknik KTA secara mekanik yaitu *countouring* pada kemiringan 25-40% pertanian lahan kering dan *stripcropping* pada pertanian lahan kering campuran, sedangkan pada hutan lahan sekunder dan hutan tanaman pada kemiringan >40% diterapkan reboisasi. Simulasi parameter SWAT yang diterapkan diantaranya adalah CN2 (nilai kurva aliran permukaan), STRIP_CN (bilangan kurva aliran permukaan), STRIP_P (faktor P USLE), dan STRIP_C (faktor C USLE).

Skenario 4: Penggunaan Lahan sesuai dengan Peta Kawasan Hutan Negara

Skenario ini diterapkan berdasarkan fungsi kawasan hutan di Sub DAS Cimanuk Hulu. Menurut Surat Keputusan Menteri Kehutanan Nomor : P. 50/Menhut-II/2009 tentang Penegasan Status dan Fungsi Kawasan Hutan. Surat Keputusan Menteri Kehutanan tersebut menyatakan bahwa definisi kawasan hutan adalah wilayah tertentu yang ditunjuk dan/atau ditetapkan oleh Pemerintah untuk dipertahankan keberadaannya sebagai hutan. Jadi peta kawasan hutan di Sub DAS Cimanuk Hulu dijadikan sebagai input parameter SWAT. Teknik konservasi tanah dan air yang diterapkan dalam skenario ini adalah reboisasi atau menghutankan kembali kawasan yang ditetapkan sebagai fungsi kawasan hutan. Simulasi parameter SWAT yang diterapkan diantaranya adalah CN2 (bilangan kurva aliran permukaan) (Tabel 2).

Tabel 2. Skenario penerapan teknik KTA

Skenario	Penerapan Teknik KTA	Parameter Hidrologi	Lokasi Subbasin	Luas	
				ha	%
1	Agroforestry	CN2	3, 4, 8, 9, 14, 16, 18, 19, dan 20-25	19,053.84	41.79
	Contouring	CN2, CONT_P, CONT_CN dan CONT_C	3, 4, 8, 9, 14, 16, 18, 19, dan 20-25		
2	Reboisasi	CN2	3, 4, 8, 9, 14, 16, 18, 19, dan 20-25	18,604.19	40.52
	Agroforestry	CN2	6, 7 dan 25		
	KTA aeral bambu	CN2	9, 15, 19, dan 21-25		
	PLBTH	CN2	9, 15, 19, dan 21-25		
3	Hutan kota	CN2	3, 4, 7, 8, 13 dan 14	18,252.91	40.03
	Agroforestry	CN2	14-16, dan 18-25		
	Contouring	CN2	14-16, dan 18-25		
	Stripcropping	STRIP_CN, STRIP_P, dan STRIP_C	14-16, dan 18-25		
4	Reboisasi	CN2	14-16, dan 18-25	22,847.03	50.11
	Reboisasi	CN2	1, 2, 5-7, 9, dan 14-25		

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kalibrasi dan Validasi Model SWAT

Tahap kalibrasi dilakukan untuk menguji keakuratan model, sehingga output model dapat mendekati kondisi kenyataan (*real*) DAS yang sedang diuji. Kalibrasi model dilakukan dengan metoda kombinasi yaitu menggunakan model SWATCUP dan kalibrasi manual (model coba-coba) memilih nilai-nilai untuk input parameter model SWAT. Menurut Arnold *et al.* (2012) menyatakan bahwa kalibrasi model SWAT dilakukan untuk mencari nilai input parameter model secara hati-hati dan membandingkan data prediksi output model pada satu set kondisi yang sama dengan data observasi. Kalibrasi dalam model SWAT dilakukan dengan menyesuaikan kombinasi nilai parameter yang berpengaruh terhadap kondisi hidrologi DAS. Kalibrasi debit model dilakukan untuk membandingkan data debit hasil perhitungan model SWAT (berupa *flow_out* pada *file.rch*) dengan debit observasi hasil pengamatan di SPAS Leuwidaun.

Parameter yang digunakan dalam proses kalibrasi pada model SWAT yaitu bilangan kurva aliran permukaan (CN2) yang disesuaikan dengan jenis penggunaan lahan, kedalaman permukaan air awal pada *aquifer* dangkal (SHALLST), koefisien *lag* aliran permukaan (SURLAG), batas kedalaman air minimum pada *Aquifer* dangkal yang dibutuhkan untuk kembali terjadinya aliran (GWQMN), faktor evaporasi tanah (ESCO), fraksi perkolasi perairan dalam (RCHRG_DP), faktor *alpha baseflow/alpha* aliran dasar untuk *bank storage* (ALPHA_BNK), faktor *uptake* tanaman (EPCO), nilai *manning* untuk saluran utama (CH_N2), hantaran hidrolis pada saluran utama alluvium (CH_K2), faktor *alpha* aliran dasar (ALPHA_BF), nilai koefisien *manning* (OV_N), lama ‘*delay*’ air bawah tanah (GW_DELAY), dangkal untuk ‘*revap*’ atau perkolasi ke *aquifer* dalam (REVAPMN). Pemilihan parameter tersebut mengacu pada Arnold *et al.* (2012). Adapun nilai awal dan nilai hasil kalibrasi dapat dilihat pada Tabel 3 (Tabel 3).

Tabel 3. Parameter yang digunakan dalam proses kalibrasi model SWAT

No	Parameter SWAT	Nilai Min	Nilai Max	Nilai yang digunakan
1	CN2	25	92	25-92*
2	SHALLST	0	5000	3500
3	SURLAG	0	12	3
4	GWQMN	0	5000	2500
5	ESCO	0	1	0.88
6	RCHRG_DP	0	0.25	0.15
7	ALPHA_BNK	0	1	0.75
8	EPCO	0	1	0.68
9	CH_N2	0	0.14	0.067
10	CH_K2	0	>127	129
11	ALPHA_BF	0	1	0.9
12	OV_N	0	0.48	0.09-0.3*
13	GW_DELAY	0	500	31
14	REVAPMN	0	1000	520

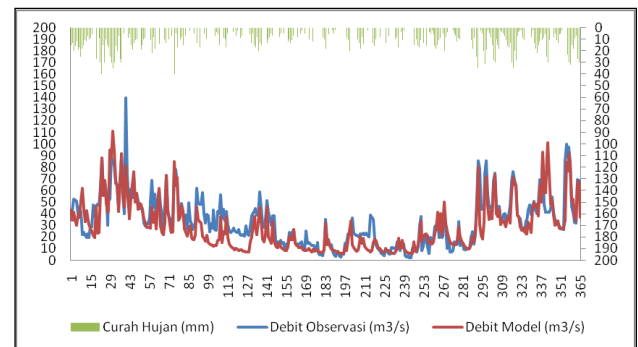
Keterangan: * nilai yang digunakan berdasarkan karakteristik penggunaan lahan

**nilai yang digunakan berdasarkan subbasin

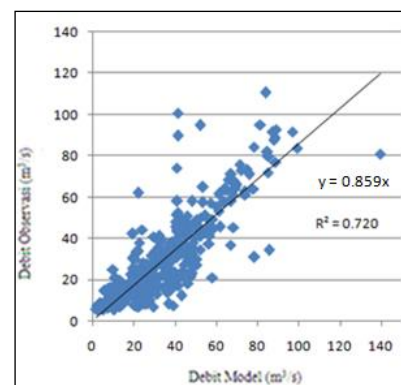
Hasil kalibrasi output model SWAT menunjukkan nilai R² dan NSE masing-masing sebesar 0.72 dan 0.65 (baik) (Gambar 1 dan 2). Hal ini menunjukkan bahwa model

SWAT cukup baik untuk mensimulasikan debit aliran di Sub DAS Cimanuk Hulu. Menurut Silva *et al.* (2015) menyatakan nilai 0.4 < NSE < 0.5 bahwa model SWAT dapat diterima dan digunakan untuk mensimulasi debit aliran di suatu DAS (Gambar 1).

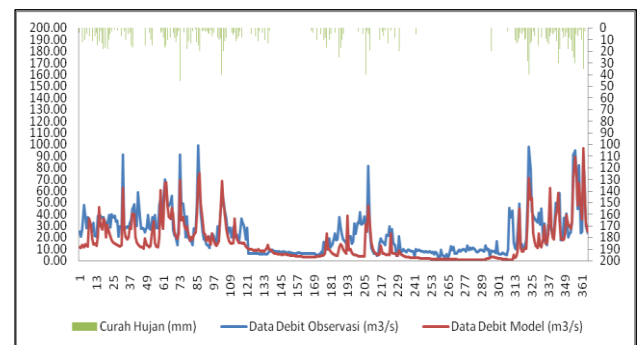
Validasi merupakan tahapan evaluasi terhadap model untuk menilai tingkat keakuratan dan konsistensi yang dimiliki suatu model dalam melakukan simulasi (prediksi proses hidrologi). Validasi dilakukan dengan cara membandingkan data harian debit aliran observasi (1 Januari- 31 Desember 2014) dari outlet Leuwidaun dengan data debit aliran simulasi yang menggunakan parameter kalibrasi. Pada penelitian ini setelah dilakukan proses validasi memiliki nilai NSE 0.56 dan R² 0.7 sebesar 2 (termasuk kategori memuaskan) (Gambar 3 dan 4).



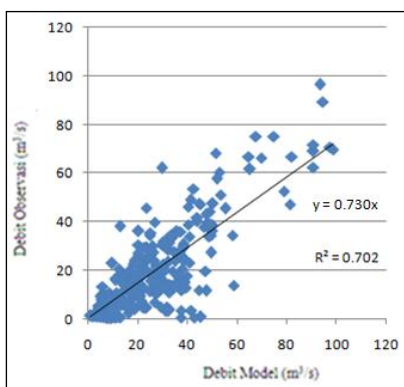
Gambar 1. Hidrograf aliran hasil simulasi setelah dilakukan kalibrasi dan hidrograf aliran observasi (1 Januari -31 Desember 2010)



Gambar 2. Scatter plot debit aliran simulasi model dan debit aliran observasi proses kalibrasi



Gambar 3. Hidrograf aliran hasil simulasi setelah dilakukan validasi dan hidrograf aliran observasi (1 Januari -31 Desember 2014)



Gambar 4. Scatter plot debit aliran simulasi model dan debit aliran observasi proses validasi

Respon Hidrologi Sub DAS Cimanuk Hulu

Fluktuasi Debit Aliran

Hasil output model hidrologi SWAT menggambarkan fluktuasi debit aliran maksimum harian di Sub DAS Cimanuk Hulu berdasarkan kondisi eksisting, skenario 1, 2, 3, dan 4 (Gambar 5). Debit maksimum harian tertinggi terjadi pada bulan Desember pada kondisi eksisting sebesar 182.9 m³s⁻¹. Setelah penerapan teknik KTA pada beberapa skenario, debit maksimum mengalami penurunan pada semua skenario. Debit maksimum bulan

Desember pada skenario 2 dan 3 sebesar 172 m³s⁻¹ dan 174.2 m³s⁻¹. Sedangkan pada skenario 1 dan 4 adalah sebesar 155.7 m³s⁻¹ dan 103 m³s⁻¹. Penurunan debit maksimum pada musim hujan menandakan bahwa kondisi DAS tersebut membaik dan dapat memperkecil potensi terjadinya banjir. Pada skenario 4 memiliki debit maksimum yang paling kecil diantara skenario yang lain. Hal ini dikarenakan luas penggunaan lahan kawasan hutan lebih luas dibandingkan dengan skenario lain. Fluktuasi debit aliran sungai dipengaruhi oleh ragam curah hujan, pengelolaan lahan pertanian tanpa menerapkan teknik KTA dan pemanfaatan penggunaan lahan yang tidak sesuai dengan kapasitas daya dukungnya (Hidayat *et al.*, 2013) (Gambar 5).

Pada musim kemarau beberapa skenario yang diterapkan dapat meningkatkan debit minimum harian. Debit minimum harian terjadi pada bulan September sebesar 1.06 m³s⁻¹ (Tabel 5) pada kondisi eksisting (sebelum diterapkan teknik KTA). Debit minimum bulan September pada Skenario 1, 2, 3, dan 4 sebesar 2, 1.9, 1.49 dan 3 m³s⁻¹. Salah satu indikator kondisi suatu DAS itu baik dapat dilihat dari nilai KRS. Menurut Asdak (2010) menyatakan bahwa membaiknya fungsi hidrologi DAS dapat diketahui dengan menurunnya debit maksimum pada musim hujan dan meningkatnya debit minimum pada musim kemarau (Tabel 4).

Tabel 4. Fluktuasi debit aliran Sub DAS Cimanuk Hulu pada berbagai skenario

	Eksisting	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3	Skenario 4
Qmaks (m ³ s ⁻¹)	182.9	155.7	172	174.2	103
Qmin (m ³ s ⁻¹)	1.06	2	1.9	1.49	3
Qmaks/Qmin	173	78	91	117	34
Kelas	ST	S	T	ST	R

Aliran Permukaan, Aliran Lateral, Aliran Dasar, dan Hasil Air

Hasil output model SWAT pada penelitian menggambarkan bahwa penerapan semua skenario dapat menurunkan aliran permukaan (SURQ) dan hasil air (WYLD), serta mampu meningkatkan aliran lateral (LATQ) dan aliran dasar (GWQ). Hasil simulasi model SWAT tahun 2014-2015 pada kondisi eksisting menghasilkan aliran permukaan 1,027.47 mm atau 33.86% dari curah hujan, sedangkan aliran lateral (392.54 mm), aliran dasar (702.59 mm), dan *water yield* (2,167.14 mm).

Berdasarkan 4 skenario yang telah disimulasikan dibandingkan dengan kondisi eksisting (tanpa skenario), maka skenario empat merupakan skenario yang terbaik dalam menurunkan aliran permukaan, meningkatkan aliran lateral dan aliran dasar. Aliran permukaan pada skenario empat menurun karena terjadi peningkatan luasan kawasan hutan berdasarkan peta kawasan hutan Negara sebesar 43.76%. Fungsi kawasan hutan merupakan daerah resapan air dan *buffer* dibagian hulu DAS ketika terjadinya hujan. Semakin luas daerah kawasan hutan, maka pada musim hujan banyak air yang diintersepsi dan diinfiltrasi kedalam tanah dan mampu meningkat aliran lateral dan aliran dasar. Menurut Halik *et al.* (2010) skenario penambahan luasan kawasan hutan menjadi 20, 30, 40 dan 50% dapat mengurangi debit maksimum sebesar 5.60, 17.69, 26.62 dan 52.54% pada musim hujan, sehingga mengurangi resiko terjadinya banjir.

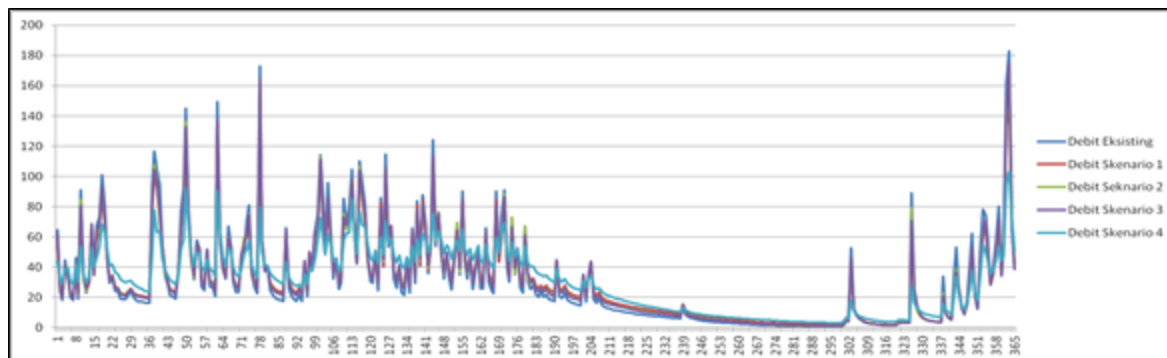
Skenario empat mampu meningkatkan aliran lateral sebesar 66.66% dan bertambahnya aliran dasar sebesar 54.51% dibandingkan dengan kondisi eksisting. Meningkatnya aliran lateral dan dasar merupakan salah satu kriteria penting dalam menentukan pengelolaan lahan terbaik yang akan diterapkan. Peningkatan luasan kawasan hutan dan penerapan agroteknologi di DAS Way Betung mampu meningkatkan kapasitas infiltrasi (Mubarak *et al.*, 2015). Nilai KRS pada skenario empat menurut klasifikasi yang ditetapkan oleh Dirjen RLPS termasuk kategori rendah. Kemampuan menurunkan aliran permukaan sangat penting terutama dapat menurunkan debit puncak dari segi kuantitas dan waktu tempuh, maka dapat mengurangi resiko terjadinya banjir. Kemampuan skenario empat dalam menurunkan aliran permukaan terbaik diantara skenario lain. (Tabel 5)

Berdasarkan hasil simulasi dari keempat skenario, diketahui bahwa aliran permukaan tertinggi (757.98 mm) dihasilkan oleh skenario ketiga. Hal ini disebabkan karena kondisi biofisik penggunaan lahan eksisting di daerah hulu kurang baik, sehingga menyumbang aliran permukaan lebih besar. Skenario ketiga merupakan penerapan teknik KTA pada penggunaan lahan kondisi eksisting berdasarkan potensi erosi di Sub DAS Cimanuk. Meskipun skenario empat merupakan skenario terbaik, tetapi penerapan di lapang akan mendapatkan kendala karena sangat sulit untuk menghutankan kembali suatu wilayah yang sudah lama

digunakan berbagai kegiatan baik itu untuk pemukiman penduduk dan kegiatan pertanian.

Adapun skenario satu memiliki aliran permukaan kedua terendah diantara skenario yang lain. Skenario kesatu merupakan skenario penerapan teknik KTA secara vegetatif (*agroforestry*), teknik (*countouring*) dan reboisasi pada penggunaan lahan pola ruang RTRW Jawa Barat 2005-2025. Skenario ini mampu menurunkan aliran permukaan sebesar 40.76% dari kondisi eksisting. Selain itu juga,

mampu meningkatkan aliran lateral sebesar 536.95 mm dan aliran dasar 932.42 mm. Nilai KRS pada skenario satu menurut klasifikasi yang ditetapkan oleh Dirjen RLPS termasuk kategori sedang. Berdasarkan beberapa pertimbangan yang telah dikemukakan tersebut, maka skenario satu merupakan alternatif yang tepat direkomendasikan dalam perencanaan pengelolaan Sub DAS Cimanuk Hulu.



Gambar 5. Fluktuasi debit Sub DAS Cimanuk Hulu pada kondisi eksisting dan beberapa skenario

Tabel 5. Karakteristik hidrologi Sub DAS Cimanuk Hulu pada berbagai skenario yang diterapkan pada tahun 2014-2015

Karakteristik Hidrologi	Eksisting	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3	Skenario 4
CH (mm)	3,034.08	3,034.08	3,034.08	3,034.08	3,034.08
SURQ(mm)	1,027.47	608.67	742.97	757.98	102.73
LAT (mm)	392.54	536.95	475.44	484.59	588.8
GWQ (mm)	702.59	932.42	883.35	864.14	1,288.7
WLYD (mm)	2,167.14	2,157.95	2,155.7	2,160.09	2,166.99

SIMPULAN

Penggunaan model hidrologi SWAT di Sub DAS Cimanuk Hulu dapat memprediksi dan mensimulasikan debit aliran dengan baik (NSE 0.56 dan R^2 0.70). Berdasarkan hasil analisis respon hidrologi dapat disimpulkan bahwa skenario pertama mampu menurunkan limpasan permukaan (*direct runoff*) sebesar 40.76% dan menambah aliran lateral sebesar 536.95 mm, sehingga dapat menurunkan respon hidrologi Sub DAS Cimanuk Hulu. Skenario satu direkomendasikan untuk perencanaan pengelolaan Sub DAS Cimanuk Hulu.

DAFTAR PUSTAKA

[BBWS CC] Balai Besar Wilayah Sungai Cimanuk Cisanggarung. 2010. *Pola Pengelolaan Sumber Daya Air Wilayah Sungai Cimanuk Cisanggarung*. Keputusan Menteri Pekerjaan Umum. No 267/KPTS/M/2010

[BPDAS CC] Balai Pengelola Daerah Aliran Sungai. 2013. *Publikasi Kegiatan RHL BPDAS Cimanuk-Citanduy Tahun 2008-2012*. Hal 5.

[Dirjen RLPS] Direktorat Jenderal Rehabilitasi Lahan dan Perhutanan Sosial. 2009. *Peraturan Direktur Jenderal Rehabilitasi Lahan dan Perhutanan Sosial Nomor: P,04/V-SET/2009 tentang Pedoman Monitoring dan Evaluasi Daerah Aliran Sungai*. Jakarta.

Arnold, J.G., J.R. Kiniry, R. Srinivasan, J.R. Williams. E.B. Haney and S.L. Neitsch. 2012. *Soil and Water Assessment Tool: Input/Output File Documentation Version 2009*. College of Agriculture and Life Science Texas A&M University. Texas.

Asdak, C. 2010. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.

Halik, G., S. Wahyuni dan A. Maududie. 2010. Dampak perubahan tata guna lahan terhadap respon hidrograf banjir di Daerah Aliran Sungai Sampean Baru. Konferensi Nasional Teknik Sipil 4. Universitas Jember. Jember.

Hidayat, Y., K. Murti Laksono, E.D. Wahyunie dan R.D. Panuju. 2013. Pencirian debit aliran sungai Citarum Hulu. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 18: 109-114.

Junaidi, E. dan S.D. Tarigan. 2011. Pengaruh hutan dalam pengaturan tata air dan proses sedimentasi Daerah Aliran Sungai (DAS): Studi kasus di DAS Cisadane. *J. Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*, 8: 155-176.

Moriasi, D.N., J.G. Arnold, M.W.V. Liew, R.L. Bingner, R.D. Harmel dan T.L. Veith. 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *J. American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 50: 885-900.

Mubarak, Z., K. Murti Laksono dan E.D. Wahyunie. 2015. Kajian respons perubahan penggunaan lahan terhadap karakteristik hidrologi DAS Way Betung –

- Lampung. Jurnal Penelitian Kehutanan Wallacea. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Mulyono, D. 2010. Pengembangan pertanian budidaya lorong (*Alley Cropping*) untuk konservasi lahan kritis di hulu Daerah Aliran Sungai (DAS) Cimanuk. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 11: 283-291.
- Rahman, A. 2009. Pengaruh luas pola penggunaan lahan dan kondisi fisik lingkungan terhadap debit air dan sedimentasi pada beberapa daerah tangkapan air (*Catchment Area*) di Sub DAS Cimanuk Hulu Jawa Barat. *J. Agroland*, 16: 224 – 230.
- Ridwansyah, I., A. Sapei and A.M. Raimadoya. 2013. Applying swat to predict impact of landuse change On hidrological response in upper cimanuk catchment area. *International Remote Sensing & GIS Workshop Series on Demography, Land Use - Land Cover and Disaster Conference Proceeding*. Institute of Technology Bandung.
- Silva, G.M., A.A.O. Netto, J.J.R. Neves, N.A. Vasco, C. Ahmeida and G.G. Faccioli. 2015. Sensitivity analysis and calibration of hydrological modeling of the watershed Northeast Brazil. *Journal of Environmental Protection*. Campus São Cristóvão, Brazil.
-