

**ANALISIS RESPON HIDROLOGI DAN KUALITAS AIR DAS CISANGKUY*****Hydrological Response and Water Quality Analysis of Cisangkuy Watershed*****Mawar Kusumawardani<sup>1)\*</sup>, Yayat Hidayat<sup>2)</sup> dan Kukuh Murtilaksono<sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup> Program Studi Ilmu Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (DAS), Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor, Jl. Meranti Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680

<sup>2)</sup> Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Jl. Meranti Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680

**ABSTRACT**

*Cisangkuy watershed has an important role as an environmental buffer and water supplier for Bandung city and Bandung district. Quantity and quality of river water need to be maintained in order to fulfill water needs. This study aimed to analyze the performance of SWAT model to predict hydrological response and water quality of Cisangkuy watershed and to analyze hydrological and water quality responses of land use management scenarios implied. The method used is modeling with SWAT hydrological model. The results showed that the model could be used to predict the hydrological response of Cisangkuy watershed with NSE calibration value of 0.38 (satisfactory) and NSE validation value of 0.43 (satisfactory). The establishment of protected forest area, Technical Design of Land and Forest Rehabilitation (RTk-RHL) and coffee-based agroforestry scenarios showed a decrease of surface flow, rise in lateral flow and baseflow. Hydrological response of RTRW scenario indicated an increase in the surface flow and a decrease in lateral flow and baseflow. The highest decrease of N-organic, NO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>, and NO<sub>2</sub> content is showed by the implication of RTRW scenario.*

*Keywords: Land use management, SWAT Model, water quality*

**ABSTRAK**

DAS Cisangkuy memiliki peran penting sebagai penyangga lingkungan dan pemasok air untuk Kota Bandung dan Kabupaten Bandung. Kuantitas dan kualitas air sungai perlu dipertahankan untuk memenuhi kebutuhan air. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja model SWAT untuk memprediksi respon hidrologi dan kualitas air DAS Cisangkuy dan untuk menganalisis respon hidrologi dan kualitas air dari skenario pengelolaan penggunaan lahan yang tersirat. Metode yang digunakan adalah permodelan dengan model hidrologi SWAT. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model tersebut dapat digunakan untuk memprediksi respon hidrologi DAS Cisangkuy dengan nilai kalibrasi NSE sebesar 0.38 (memuaskan) dan nilai validasi NSE sebesar 0.43 (memuaskan). Pembentukan kawasan hutan lindung, Desain Teknis Rehabilitasi Lahan dan Hutan (RTk-RHL) dan skenario agroforestri berbasis kopi menunjukkan penurunan aliran permukaan, peningkatan aliran lateral dan aliran dasar. Respon hidrologi skenario RTRW menunjukkan peningkatan aliran permukaan dan penurunan aliran lateral dan aliran basa. Penurunan tertinggi konten N-organik, NO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>, dan NO<sub>2</sub> ditunjukkan oleh implikasi skenario RTRW.

Kata kunci: Pengelolaan penggunaan lahan, Model SWAT, kualitas air

**PENDAHULUAN**

Daerah aliran sungai (DAS) Cisangkuy merupakan salah satu sub-das Citarum Hulu. Wilayah ini memiliki fungsi penyangga pemenuhan kebutuhan air baku Kota dan Kabupaten Bandung. Kuantitas dan kualitas air sungai perlu dijaga agar kebutuhan air dapat dipenuhi.

Kondisi hidrologis DAS Cisangkuy telah mengalami penurunan yang ditandai dengan fluktuasi debit sungai yang tinggi. Hal ini ditunjukkan dengan adanya kejadian banjir pada musim hujan dan kejadian kekeringan pada musim kemarau. Debit tinggi Sungai Cisangkuy pada musim hujan menjadi bagian dari kejadian banjir yang rutin terjadi setiap tahun di kawasan hulu DAS Citarum. Kawasan yang terdampak diantaranya Kecamatan Bojong Soang, Kecamatan Baleendah dan Kecamatan Dayeuh Kolot, Kabupaten Bandung. Pada tahun 2013, tinggi genangan banjir mencapai ketinggian dua meter dan menyebabkan kawasan pemukiman di Kecamatan Baleendah terisolir (BPBD Kabupaten Bandung, 2013).

Penurunan kondisi hidrologis kawasan ini juga ditunjukkan dengan adanya kenaikan erosi rata-rata sebesar sebesar 45.24 ton ha<sup>-1</sup> tahun<sup>-1</sup> pada 1997 menjadi 303 ton ha<sup>-1</sup> tahun<sup>-1</sup> pada 2010. Indeks bahaya erosi DAS Cisangkuy juga mengalami peningkatan dari angka 1.84 (sedang) pada 1997 menjadi 14.03 (sangat tinggi) pada 2010. Aliran permukaan dan erosi pada DAS Cisangkuy tersebut mempengaruhi kuantitas dan kualitas air Sungai Cisangkuy.

Salah satu penyebab penurunan kondisi hidrologis DAS Cisangkuy yakni adanya perubahan penggunaan lahan. Luas hutan di DAS Cisangkuy pada 1997 seluas 14,977 ha (44.02% dari luas DAS Cisangkuy). Pada 2010, luas hutan berkurang menjadi 5,128 ha (15.07% dari luas DAS Cisangkuy). Luas lahan sawah juga mengalami penurunan yakni dari 7,182 ha (21.11 % dari luas DAS Cisangkuy) menjadi 4,961 ha (14.58% dari luas DAS Cisangkuy). Penggunaan lahan yang mengalami peningkatan luas yakni kebun campuran, pemukiman, ladang (tegalan), dan perkebunan. Perkebunan menjadi penggunaan lahan yang mengalami peningkatan tertinggi

yakni dari angka 2,936 ha (8.63 % dibandingkan luas DAS Cisangkuy) menjadi 11,108 ha (15.07 % dibanding luas DAS Cisangkuy) (Suriadikusumah dan Herdiansyah, 2014).

Sebagai penyangga kebutuhan air bersih Kota dan Kabupaten Bandung, kualitas air Sungai Cisangkuy perlu diperhatikan. Kegiatan pertanian dan peternakan di wilayah DAS Cisangkuy akan mempengaruhi kualitas air Sungai Cisangkuy. Widyastuti *et al.* (2013) menunjukkan kegiatan usaha peternakan sapi di kawasan usahatani terpadu di Bangka *Botanical Garden* Pangkalpinang tanpa pengelolaan limbah yang benar berpotensi mencemari tanah dan air di sekitarnya.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, pemerintah telah mengupayakan berbagai program, seperti kegiatan rehabilitasi hutan dan lahan dan pengaturan tata ruang melalui Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW). Selain upaya tersebut, perlu disusun upaya lain agar kuantitas dan kualitas air terjaga. Upaya lain tersebut dapat berupa penerapan kawasan hutan dan agroforestri.

Pendugaan hasil penerapan program dapat dilakukan menggunakan model hidrologi. Salah satu model hidrologi yang umum digunakan adalah model SWAT. Model hidrologi SWAT (*Soil and Water Assessment Tools*) dapat digunakan untuk menduga respon hidrologi berupa debit, sedimen sungai dan hara. (Neitsch *et al.*, 2005). Irsyad (2011), Junaidi dan Tarigan (2011, 2012), Latifah (2013), dan Karim (2014), menggunakan model SWAT untuk menganalisis debit dan sedimen. Salah satu penelitian kuantitas dan kualitas air yang menggunakan model SWAT yakni Pisinaras *et al.* (2009).

Tujuan penelitian ini yaitu: (1) menganalisis kinerja model SWAT untuk DAS Cisangkuy, dan (2) menganalisis respon hidrologi dan kualitas air DAS Cisangkuy terhadap penerapan skenario pengelolaan penggunaan lahan.

## BAHAN DAN METODE

### Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di DAS Cisangkuy dari Desember 2016 hingga Juni 2017. Wilayah Sub-DAS Cisangkuy meliputi sembilan kecamatan, yakni Dayeuh Kolot, Pameungpeuk, Banjaran, Pangalengan, Kertasari, Pacet, Arjasari, Ciwidey dan Ciparay. Secara astronomis, DAS Cisangkuy terletak di antara 107° 28' 55" - 107° 39' 84" BT dan 6° 59' 24" - 7° 13' 51" LS. Adapun outlet pengamatan debit yang diamati yakni SPAS Cisangkuy - Kamasan.

### Bahan dan Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini berupa seperangkat komputer dengan perangkat lunak ArcGIS 10.1, ArcSWAT 2012, *Microsoft Office* 2010, alat tulis, kamera digital, dan GPS. Bahan – bahan yang digunakan terdiri dari data curah hujan dan debit sungai harian (2004-2014), data iklim (suhu udara minimum, suhu udara maksimum, kecepatan angin dan radiasi matahari) harian (2004-2014), peta penggunaan lahan (2011-2012), peta jenis tanah, data DEM, data RTk-RHL DAS Cisangkuy, data *point source*, data kualitas air sungai (2011-2014),

peta peruntukkan kawasan hutan, dan RTRW Kab. Bandung.

## Metode Penelitian

### Pengumpulan Data

Pengumpulan data berupa data digital, peta dan data sekunder lainnya dilakukan melalui beberapa instansi. Permintaan formal kepada BPDAS-HL Citarum-Ciliwung, Badan Informasi Geospasial (BIG), Pusair Kemenpu Jawa Barat, BBWS Citarum, BMKG Jawa Barat, Puslittanak, Bappeda Kabupaten Bandung, Dirjen Planologi Kehutanan KLHK, KPBS, dan BPLH Kab. Bandung.

### Menjalankan Model SWAT

Delineasi sub-das. Langkah pertama untuk pada proses simulasi model SWAT adalah delineasi sub-DAS. Data yang digunakan yakni data DEM sub-DAS Cisangkuy. Data DEM sub-DAS Cisangkuy dibangun dari peta kontur. *Outlet* yang digunakan sebagai patokan yakni outlet pos duga air Kamasan.

Analisis *Hydrological Response Units* (HRU). Data yang digunakan pada pendefinisian HRU terdiri dari data penggunaan lahan, jenis tanah dan kemiringan lereng. Penggunaan lahan yang digunakan merupakan data penggunaan lahan tahun 2011. Pendefinisian HRU dilakukan menggunakan metode *threshold by percentage* sebesar 0%.

Data yang digunakan untuk *Weather Generalization*. yakni data series temperatur, curah hujan, evaporasi, radiasi matahari dan kecepatan angin harian periode 2004-2014. Pada tahap *Setup* dan *Run* SWAT dilakukan penentuan periode simulasi yakni tahun 2005-2014, dengan NYSKIP (*warming up model*) selama 5 tahun.

### Kalibrasi dan Validasi

Kalibrasi merupakan proses penyesuaian nilai parameter-parameter model hingga hasil model sesuai dengan nilai observasi lapang (Garcia *et al.*, 2008). Validasi merupakan proses uji konsistensi model untuk periode data selanjutnya. Proses validasi dilakukan dengan menjalankan model menggunakan data periode yang berbeda dari data yang digunakan ketika kalibrasi tanpa mengubah nilai parameter yang sudah dikalibrasi. Secara kuantitatif, akurasi dan konsistensi model diamati menggunakan nilai koefisien Nash-Sutcliffe (NSE). Rumus penghitungan nilai NSE yakni:

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

dengan; NSE merupakan nilai Nash-Sutcliffe *coefficient of efficiency*,  $Y_i^{obs}$  merupakan data hasil pengamatan lapang,  $Y_i^{sim}$  merupakan data hasil model dan  $Y^{mean}$  merupakan rata-rata data hasil pengamatan lapang.

Kalibrasi debit dilakukan secara harian (*daily*). Data yang digunakan pada kalibrasi yaitu data debit tahun 2011. Adapun data yang digunakan untuk validasi merupakan data tahun 2012. Klasifikasi nilai NSE ditunjukkan pada Tabel 1. Model yang telah divalidasi

dengan NSE yang memuaskan dapat digunakan untuk simulasi sesuai skenario yang diinginkan. Kalibrasi dan validasi kualitas air tidak dilakukan karena keterbatasan data.

Tabel 1. Klasifikasi nilai NSE

Nilai NSE	Klasifikasi
0.75 – 1	Sangat memuaskan
0.36 – 0.75	Memuaskan
0 – 0.36	Kurang memuaskan

Sumber: Nash *et al.* (1970) dalam Surahman (2016)

### Simulasi

Skenario yang disimulasikan yakni:

1. Pemulihan kawasan hutan Kabupaten Bandung sesuai peta peruntukan kawasan hutan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan sesuai SK 195 Tahun 2003 Tentang Penunjukan Kawasan Hutan di Wilayah Provinsi Jawa Barat. Penerapan skenario dilakukan melalui penyesuaian klasifikasi kawasan hutan dengan penggunaan lahan pada SWAT. Penyesuaian ini menghasilkan perubahan penggunaan lahan.
2. Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kabupaten Bandung sesuai Perda Kab. Bandung No. 27 tahun 2016 Tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Bandung 2016-2036. Penerapan skenario dilakukan melalui penyesuaian pola ruang dengan penggunaan lahan pada SWAT. Padanan pola ruang RTRW Kabupaten Bandung ditunjukkan pada Tabel 2.
3. Penerapan RTk-RHL DAS Cisangkuy. Kegiatan RTk-RHL DAS Cisangkuy yang disimulasikan yakni: *agroforestry* dan teras gulud. Penerapan skenario dilakukan melalui modifikasi penggunaan lahan dan penyesuaian CN. Nilai parameter CN2 pada areal yang dikenai teknik konservasi teras gulud dikurangi 10. Pada areal Agroforestri, nilai CN2 dimodifikasi

menjadi 40. Nilai CN2 pada areal yang dikenai Agroforestri dan teras gulud diubah menjadi 30.

4. Agroforestri berbasis kopi pada lahan pertanian dengan kontur 15-40 %. Penerapan skenario dilakukan melalui penyesuaian nilai CN menjadi 35 pada areal pertanian (tegalan, kebun campuran, perkebunan dan hutan tanaman) dengan kemiringan 15-40%.

### Analisis Data

*Output* yang dianalisis merupakan hasil simulasi skenario berupa debit (FLOW\_OUT), ORGN\_OUTkg, NO3\_OUTkg, NH4\_OUTkg, dan NO2\_OUTkg. Analisis kualitas air dilakukan melalui pengamatan perubahan kandungan nutrisi sesudah simulasi dengan data lapangan (sebelum simulasi).

Respon hidrologi yang diamati yakni koefisien aliran tahunan (KAT). Rumus perhitungan nilai KAT yaitu:

$$KAT = \text{Total DRO} / \text{Total Curah Hujan}$$

dengan, DRO (*direct runoff*) merupakan penjumlahan antara aliran permukaan (*surface runoff*) dengan aliran lateral (*lateral flow*). Klasifikasi nilai KAT ditunjukkan pada Tabel 3.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Parameterisasi Model SWAT

#### Jenis Tanah

Satuan lahan yang terdapat pada DAS Cisangkuy terdiri dari 13 satuan lahan (Tabel 4). Satuan lahan dengan luas terbesar yaitu Typic Melanudands, Eutric Hapludands (SCS22) seluas 3,645.2 ha (17.76%). Tanah Typic Hapludalfs, Typic Eutropepts dengan luas 440.2 ha (2.15%) menjadi jenis tanah terkecil.

Tabel 2. Padanan pola ruang RTRW dengan penggunaan lahan input model

No.	Pola Ruang	Padanan Penggunaan Lahan	Kode
1	Cagar Alam	Hutan Primer	FRSE
2	Hutan Lindung	Hutan Primer	FRSE
3	Hutan Produksi	Hutan Tanaman	CS02
4	Jalan Kolektor	Transportation	UTRN
5	Jalur Kereta Api	Transportation	UTRN
6	Kawasan Perdagangan/Jasa	Commercial	UCOM
7	Kawasan Permukiman	Urban - Medium Density	URMD
8	Kawasan Pertanian Lahan Basah	Sawah	CS13
9	Kawasan Pertanian Lahan Kering	Tegalan	CS08
10	Kawasan Peruntukan Industri	Industrial	UIDU
11	Kawasan Peruntukan Peternakan	Peternakan	PAST
12	Kawasan Tanaman Tahunan	Perkebunan	CS12
13	Situ/Waduk/Danau	Badan Air	WATR
14	Sungai	Badan Air	WATR
15	Taman Hutan Raya	Hutan Sekunder	CS01
16	Taman Wisata Alam	Hutan Sekunder	CS01

Tabel 3. Klasifikasi nilai KAT

Nilai KAT	Klasifikasi
$KAT \leq 0.2$	Sangat Rendah (SR)
$0.2 < KAT \leq 0.3$	Rendah (R)
$0.3 < KAT \leq 0.4$	Sedang (S)
$0.4 < KAT \leq 0.5$	Tinggi (T)
$KAT > 0.5$	Sangat Tinggi (ST)

**Penggunaan Lahan**

Penggunaan lahan DAS Cisangkuy terdiri dari 10 tipe penggunaan lahan (Tabel 5). Tegalan menjadi penggunaan lahan dominan dengan luas 5,647.1 ha (27.52%). Penggunaan lahan terkecil yaitu tanah terbuka dengan luas sebesar 28.4 ha (0.14%).

**Kemiringan Lereng**

Kemiringan lereng pada DAS Cisangkuy dibagi menjadi 5 kelas kemiringan lereng (Tabel 6). Kisaran pembagian kelas kemiringan lereng pertama secara

berturut – turut adalah; 0-8 %, 8-15 %, 15-25 %, 25-40 %, dan > 40 %.

**Point Source input**

Jumlah *point source* yang dimasukkan sebanyak 23 titik (Tabel 7) sedangkan jumlah titik yang muncul setelah input data sebanyak 8 titik (Gambar 1). Titik-titik tersebut merupakan titik baru yang dibuat oleh model. Titik-titik sumber pencemar ditarik berdasarkan titik pusat terdekat ke garis sungai.

Tabel 4. Satuan lahan pada DAS Cisangkuy

No	Satuan lahan	Kode SWAT	Luas (ha)	Persentase Luas
1	Typic Tropaquepts, Vertic Tropaquepts, Vertic Eutropepts	SCS01	490.5	2.39
2	Typic Eutropepts, Typic Tropaquepts	SCS02	712.8	3.47
3	Typic Humitropepts, Aquic Eutropepts, Typic Eutropepts	SCS06	3,461.9	16.87
4	Thaptic Hapludands, Eutric Hapludands	SCS11	1,467.0	7.15
5	Typic Hapludolls, Andic Hapludolls, Oxic Dystropept	SCS15	2,119.4	10.33
6	Typic Hapludolls, Typic Eutropept	SCS16	1,648.9	8.04
7	Typic Hapludalfs, Typic Eutropepts	SCS17	440.2	2.15
8	Typic Humitropepts, Typic Eutropepts	SCS18	839.6	4.09
9	Eutric Hapludands, Typic Kandiodalfs	SCS20	1,383.3	6.74
10	Eutric Hapludands	SCS25	1,701.3	8.29
11	Typic Melanudands, Eutric Hapludands	SCS22	3 645.2	17.76
12	Typic Hapludands, Eutric Hapludands	SCS23	719.8	3.51
13	Oxic Humitropepts, Typic Eutropepts	SCS24	1,533.4	7.47
14	Badan Air	WATR	356.2	1.74
Total			20,519.4	100.00

Tabel 5. Penggunaan lahan DAS Cisangkuy Tahun 2014

No	Penggunaan Lahan	Kode SWAT	Luas (ha)	Persentase Luas
1	Hutan Sekunder	CS01	3,024.8	14.74
2	Hutan Tanaman	CS02	2,311.0	11.26
3	Kebun Campuran	CS03	472.3	2.30
4	Belukar	CS07	28.4	0.14
5	Tegalan	CS08	5,647.1	27.52
6	Perkebunan	CS12	3,305.9	16.11
7	Sawah	CS13	3,493.7	17.03
8	Hutan Primer	FRSE	590.1	2.88
9	Pemukiman	URMD	1,344.7	6.55
10	Badan Air	WATER	301.5	1.47
Total			20,519.4	100.00

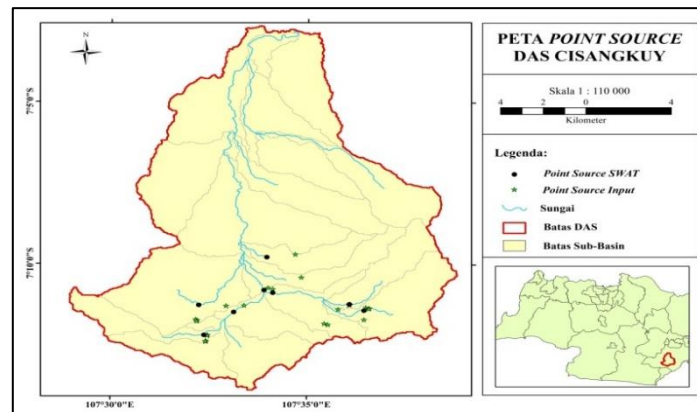
Tabel 6. Kemiringan lereng DAS Cisangkuy (*hasil HRU Analysis*)

No	Kemiringan Lereng (%)	Kelas Lereng	Luas (Ha)	Persentase Luas
1	0-8	Datar	3,939.1	19.20
2	8-15	Landai	4,443.5	21.65
3	15-25	Agak Curam	4,615.7	22.49
4	25-40	Curam	3,852.8	18.78
5	>40	Sangat Curam	3,668.4	17.88
Total			20,519.4	100.00

Tabel 7. *Point source* pada DAS Cisangkuy

No	Xpr	Ypr	Lat	Long	Type
1	785041.105700	9206290.390400	107.580810	-7.173310	D
2	786761.976300	9204463.978200	107.596480	-7.189730	D
3	786108.366300	9203649.712300	107.590610	-7.197120	D
4	786281.782700	9203589.402100	107.592180	-7.197650	D
5	787292.823800	9204741.614100	107.601270	-7.187190	D
6	787299.448300	9204718.829200	107.601330	-7.187390	D
7	787301.246600	9204711.134100	107.601340	-7.187460	D
8	787303.623900	9204697.287900	107.601370	-7.187590	D
9	788060.251700	9204565.718800	107.608220	-7.188740	D
10	788218.997400	9204516.244900	107.609660	-7.189180	D
11	788205.319700	9204486.505400	107.609540	-7.189450	D
12	787972.476500	9203870.580600	107.607460	-7.195030	D
13	783700.058000	9205624.743400	107.568710	-7.179390	D
14	783475.704400	9205690.859400	107.566680	-7.178810	D

No	Xpr	Ypr	Lat	Long	Type
15	784762.316900	9207597.132900	107.578230	-7.161510	D
16	782354.510400	9204695.055700	107.556590	-7.187860	D
17	781510.792600	9204675.786600	107.548950	-7.188080	D
18	780162.796100	9203843.516800	107.536800	-7.195670	D
19	780088.561700	9203908.785800	107.536120	-7.195080	D
20	780131.964100	9203819.404900	107.536520	-7.195890	D
21	780641.641600	9203007.241000	107.541170	-7.203200	D
22	780618.504400	9202986.775300	107.540960	-7.203390	D
23	780571.882500	9202662.748300	107.540560	-7.206320	D



Gambar 1. Peta *point source* pada DAS Cisangkyu

### Kalibrasi dan Validasi Model SWAT

Pada penelitian ini, kalibrasi model SWAT dilakukan secara *trial and error*. Parameter yang dianggap sensitif untuk DAS Cisangkyu yakni: CH\_K2, CH\_N2, CH\_K1, CH\_N1, ESCO, EPCO, ALPHA\_BANK, SHALLST, DEEPST, GWQMIN, GW\_DELAY, ALPHA\_BF, REVAPMN, CN2 dan OV\_N (Tabel 8). Nilai NSE kalibrasi yang dihasilkan termasuk memuaskan dengan nilai NSE sebesar 0.38. Hidrograf debit model dengan debit observasi setelah kalibrasi ditunjukkan pada Gambar 2.

Data yang digunakan untuk validasi model adalah data tahun 2012. Nilai NSE validasi model sebesar termasuk memuaskan dengan nilai NSE 0.43. Nilai NSE kalibrasi dan validasi harian sulit untuk mencapai nilai 0.5 karena korelasi data curah hujan dan debit observasi sangat kecil. Hidrograf debit model dengan debit observasi setelah validasi ditunjukkan pada Gambar 3.

### Analisis Respon Hidrologi

Penerapan skenario-skenario menghasilkan respon hidrologi yang beragam (Tabel 9). Penerapan skenario 1 (penerapan kawasan hutan) berhasil menurunkan aliran permukaan karena adanya peningkatan daerah resapan. Respon hidrologi skenario kedua menunjukkan kenaikan aliran langsung dan penurunan aliran lateral, aliran dasar, dan *water yield*. Hal ini berkaitan dengan peningkatan areal urban pada penggunaan lahan skenario ke dua. Pada penggunaan lahan tanpa skenario areal urban seluas 1,344.7 ha sedangkan pada skenario kedua, luas areal urban (pemukiman,

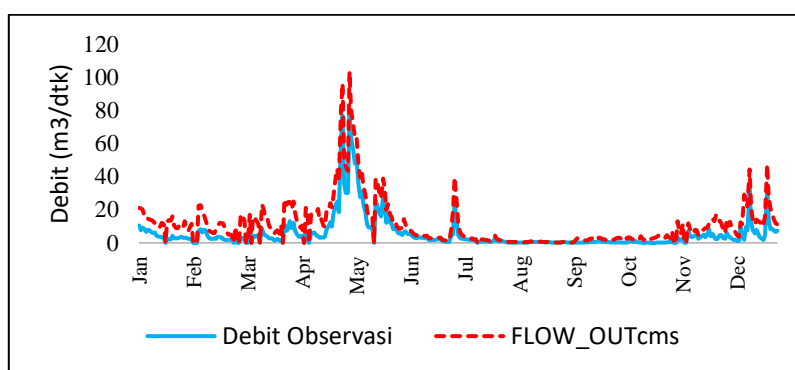
industrial, jalan, serta areal jasa dan perdagangan) menjadi 2,550.4 ha. Peningkatan areal urban ini sesuai dengan rencana pengembangan wilayah Bandung sebagai Kawasan Metropolitan Bandung Raya.

Skenario ke-empat menghasilkan penurunan aliran permukaan tertinggi dari skenario lainnya. Penurunan aliran permukaan terhadap hasil eksisting hasil Skenario 4 lebih besar daripada penurunan aliran permukaan hasil Skenario 1. Hal ini disebabkan Skenario 4 berhasil mengurangi aliran permukaan dari areal pertanian pada kemiringan lahan 15-40 %. Hal ini juga sejalan dengan hasil penelitian Verbist *et al.* (2004) tentang perubahan penggunaan lahan dan dampaknya terhadap fungsi DAS pada lansekap agroforestri berbasis kopi di Sumatera. Hasil penelitian Verbist *et al.* (2004) menunjukkan perubahan penggunaan lahan hutan menjadi areal agroforestri berbasis kopi dengan tetap mempertahankan areal hutan pada lokasi-lokasi yang penting dapat memberikan fungsi DAS yang baik.

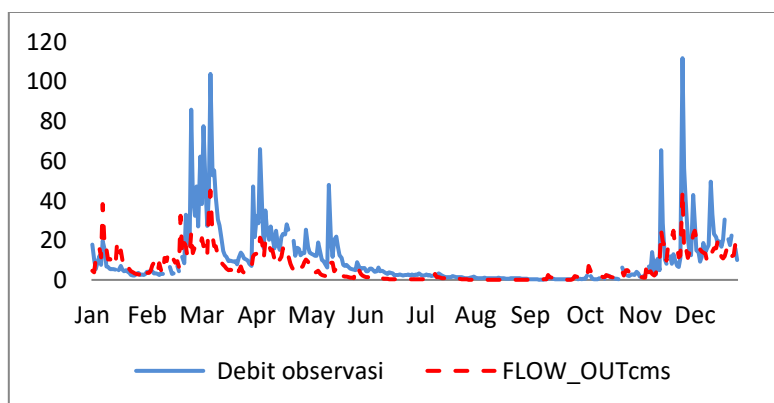
Nilai dan klasifikasi Koefisien Aliran Tahunan (KAT) pada berbagai skenario ditunjukkan pada Tabel 10. Nilai KAT Skenario 1, 2, dan 3 sama dengan nilai KAT penggunaan lahan eksisting (tanpa skenario). Selisih nilai KAT Skenario 4 dengan nilai KAT penggunaan lahan eksisting hanya sebesar 0.01. Skenario 4 menghasilkan penurunan *Direct Run Off* (DRO) terbesar sebesar 16.17 mm (2.37%). Klasifikasi KAT pada semua skenario sama yakni Sedang. Penurunan aliran permukaan yang relatif besar hasil Skenario 1 dan 4. Meskipun demikian, penurunan aliran permukaan tersebut diikuti dengan peningkatan aliran lateral sehingga nilai KAT relatif sama.

Tabel 8. Nilai parameter-parameter pada kalibrasi

Parameter	Keterangan	Nilai Awal	Nilai Akhir	Nilai Kisaran
CH_K1	Konduktifitas hidrolis efektif pada saluran cabang	0	25	0-300
CH_K2	Konduktifitas hidrolis efektif pada saluran utama (mm/jam)	0	50	-0.01-500
CH_N1	Koefisien kekasaran manning pada saluran cabang	0.014	0.1	0.01-30
CH_N2	Koefisien kekasaran Manning untuk saluran utama	0.014	0.25	-0.01-0.3
ESCO	Faktor kompensasi evaporasi tanah	0.95	0.4	0-1
EPCO	Faktor kompensasi pengambilan air oleh tanaman ( <i>uptake</i> ).	1.00	0.8	0-1
ALPHA_BANK (hari)	Faktor alfa ( $\alpha$ ) aliran bawah tanah ( <i>baseflow</i> ) untuk simpanan bawah tanah ( <i>bank storage</i> ).	0.2	0.8	0-1
SHALLST (mm)	Kedalaman permukaan air pada akuifer dangkal (mm)	1,000	3,000	0-5,000
DEEPST (mm)	Kedalaman permukaan air pada akuifer dalam (mm)	2,000	5,000	0-10,000
GWQMIN (mm)	Batas kedalaman air pada akuifer dangkal yang dibutuhkan agar terjadi aliran balik ( <i>return flow</i> )	1,000	1,500	0-5,000
GW_DELAY (hari)	Waktu penundaan air dari profil tanah untuk menjadi air bawah tanah ( <i>groundwater</i> )	31	15	0-500
ALPHA_BF (hari)	Jumlah hari untuk aliran bawah tanah ( <i>baseflow</i> ) untuk mengalami resesi (penurunan) dalam satu siklus log.	0.048	0.95	0-1
OV_N*	Koefisien Manning untuk aliran permukaan	0.3	0.012-0.47	0.01-30
REVAPMN (mm)	Batas kedalaman air pada akuifer dangkal untuk mengalami 'revap' (pergerakan menuju zona tidak jenuh)	750	600	0-1,000
CN2*	Bilangan kurva pada kondisi kelembaban II	25-92	19-88	0-100



Gambar 2. Hidrograf debit model dengan debit observasi setelah kalibrasi



Gambar 3. Hidrograf debit model dengan debit observasi setelah validasi

### Kualitas Air

Hasil wawancara dengan petani dan kelompok tani menunjukkan pengelolaan pertanian yang masih konvensional. Sebagian besar petani tidak mencatat penggunaan pupuk dan pestisida. Pemberian pupuk dilakukan sesuai dengan pengalaman dan ketersediaan modal. Pemberian pestisida dilakukan sesuai dengan kebutuhan di lapang (kejadian penyerangan hama, gulma atau parasit lainnya) dan ketersediaan modal. Selain itu, sistem penanaman komoditas sebagian besar tidak

memiliki jadwal tanam yang teratur setiap tahunnya dan pengaturan lokasi tanam juga tidak dapat diidentifikasi secara tepat. Hal ini menyebabkan kesulitan dalam aplikasi pemupukan dan pemberian pestisida pada simulasi SWAT untuk kualitas air DAS Cisangkuy. Input data point source dimasukkan setelah proses *Weather Generalization*. Data jumlah ternak dan bobot cemaran pada setiap point sources ditunjukkan pada Tabel 11.

Kandungan organik N, NO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>, dan NO<sub>2</sub> hasil model pada titik outlet ditunjukkan pada Tabel 12.

Tabel 9. Respon hidrologi pada berbagai skenario

Respon Hidrologi	Skenario				
	Tanpa Skenario	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3	Skenario 4
SURQ (mm)	115.41	97.52	155.87	108.70	82.52
$\Delta$ SURQ					
mm	-	-17.89	40.46	-6.71	-32.89
%	-	-15.50	35.06	-5.81	-28.50
LATQ (mm)	566.62	586.98	523.24	572.33	583.34
$\Delta$ LATQ					
mm	-	20.36	-43.38	5.71	16.72
%	-	3.59	-7.66	1.01	2.95
GWQ (mm)	369.09	367.55	285.74	369.51	383.28
$\Delta$ GWQ					
mm	-	-1.54	-83.35	0.42	14.19
%	-	-0.42	-22.58	0.11	3.84
WYLD (mm)	1,048.55	1,053.40	954.43	1,049.79	1,054.88
$\Delta$ WYLD					
mm	-	4.85	-94.12	1.24	6.33
%	-	0.46	-8.98	0.12	0.60

Keterangan: SURQ: Aliran permukaan, LATQ: Aliran Lateral, GWQ: Aliran dasar, WYLD: *Water Yield*;  $\Delta$ : selisih dengan respon hidrologi tanpa skenario

Tabel 10. Nilai dan klasifikasi KAT pada berbagai skenario

Skenario	Curah Hujan (mm)	Direct Run Off (DRO) (mm)	KAT	Klasifikasi*
Tanpa Skenario	1762.93	682.03	0.39	Sedang
Skenario 1	1762.93	684.5	0.39	Sedang
Skenario 2	1762.93	679.11	0.39	Sedang
Skenario 3	1762.93	686.25	0.39	Sedang
Skenario 4	1762.93	665.86	0.38	Sedang

\*Sumber: P.61/Menhut-II/2014 (Kemenhut RI, 2014)

Tabel 11. Jumlah ternak dan bobot cemaran organik N pada setiap *point sources*

No.	Point ID	Lokasi	Flow (m <sup>3</sup> )	Jumlah Organik N (kg)
1	10	Sukamenak	0.01	13.743
2	11	Pangalengan	0.01	5.535
3	12	Pulosari	0.01	4.465
4	13	Pulosari	0.01	4.465
5	14	Warnasari	0.01	12.73
6	15	Cipanas	0.01	16.86
7	16	Warnasari	0.01	12.73
8	18	Cipanas	0.01	16.86

Tabel 12. Kandungan organik N, NO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>, dan NO<sub>2</sub> pada titik outlet pada berbagai skenario

Skenario	Kandungan Zat (kg)			
	Organik N	NO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub>	NO <sub>2</sub>
Eksisting	164,675.44	170,719.42	22,048.32	292.82
Skenario 1	162,609.07	136,052.55	22,951.04	300.46
Selisih terhadap Eksisting	-2,066.37	-34,666.87	902.72	7.6375
Persentase perubahan	-1.25	-21.05	0.55	0.01
Skenario 2	94,830.25	99,797.88	18,764.55	351.27
Selisih terhadap Eksisting	-69,845.19	-70,921.54	-3,283.78	58.45
Persentase perubahan	-42.41	-43.07	-1.99	0.04
Skenario 3	186,629.46	184,138.15	25,315.27	299.62
Selisih terhadap Eksisting	21,954.02	13,418.73	3,266.95	6.78
Persentase perubahan	13.33	8.15	1.98	0.004
Skenario 4	163,993.16	170,719.06	21,732.68	283.64
Selisih terhadap Eksisting	-682.27	-0.37	-315.64	-9.19
Persentase perubahan	-0.41	-0.0002	-0.19	-0.006

Penurunan kandungan organik N, NO<sub>3</sub>, dan NH<sub>4</sub> terhadap hasil penggunaan lahan eksisting yang terbesar dihasilkan dari Skenario 2. Hal ini berkaitan dengan penurunan luas areal pertanian pada skenario tersebut. Luas areal pertanian yang menurun, meski dengan input cemaran *point source* yang sama akan menghasilkan kandungan cemaran yang lebih sedikit. Penurunan luas areal pertanian menyebabkan input cemaran *non-point source* berkurang.

## SIMPULAN

Model SWAT mampu memprediksi debit dan volume aliran permukaan, aliran lateral dan aliran dasar DAS Cisangkuy dengan akurasi yang cukup baik. Nilai NSE kalibrasi sebesar 0.38 (memuaskan) dan NSE validasi sebesar 0.43 (memuaskan). Skenario penerapan kawasan hutan, RTk-RHL dan agroforestri berbasis kopi memberikan respon hidrologi yang cukup baik. Penurunan aliran permukaan masing-masing skenario secara berurutan yaitu 15.50%, 5.81%, dan 28.50%. Penerapan RTRW Kabupaten Bandung tahun 2016 - 2036 menghasilkan kenaikan aliran permukaan sebesar 35.06%.

Penerapan pola ruang Kabupaten Bandung menurunkan kandungan organik N, NO<sub>3</sub>, dan NH<sub>4</sub> dalam aliran sungai masing-masing sebesar 42.41%, 43.07%, dan 1.99%.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [BPBD] Badan Penanggulangan Bencana Daerah Kabupaten Bandung. 2013. *Rekapitulasi Kejadian Bencana Banjir Tahun 2013 di Kab. Bandung*. BPBD Kab. Bandung, Bandung.
- Garcia, A., A. Sainz, A. Revilla, C. Alvarez, J.A. Juanes and A. Puente. 2008. Surface water resources assessment in scarcely gauged basins in the north of Spain, *J. Hidrol.*, 356:312-326
- Irsyad, F. 2014. Analisis Debit Sungai Cidanau dengan Aplikasi SWAT [Tesis]. IPB. Bogor.
- 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.
- Junaidi, E. dan S.D. Tarigan. 2012. Penggunaan model hidrologi SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) dalam pengelolaan DAS Cisadane. *J. Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*, 9:221-237
- Karim, S. 2014. Stratedi Penanggulangan Sedimen di Sub-DAS Citanduy Hulu Provinsi Jawa Barat dengan Menggunakan Model SWAT [Tesis]. IPB. Bogor.
- Latifah, I. 2013. Analisis Ketersediaan Air, Sedimentasi, dan Karbon organik dengan Model SWAT di Hulu DAS Jeneberang, Sulawesi Selatan [Tesis]. IPB. Bogor.
- Neitsch, S.L., J.G. Arnold, J.R. Kiniry and J.R. Williams. 2005. *Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation Version 2005*. Texas Water Resources Institute, Texas.
- [PermenHut] Peraturan Menteri Kehutanan. 2014. Peraturan Menteri Kehutanan Republik Indonesia Nomor: P.61/Menhut-II/2014 Tentang Monitoring dan Evaluasi Pengelolaan Daerah Aliran Sungai. Sekretariat Kementerian Kehutanan, Jakarta.
- Pisinaras, V., C. Petalas, G.D. Gikas, A. Gemitzi and V.A. Tsihrintzis. 2009. Hydrological and water quality modeling in a medium-sized basin using the Soil and Water Assessment Tool (SWAT). *J. Desalination*, 250(2010):274-286. doi:10.1016/j.desal.2009.09.044
- Surahman, S. 2016. Perubahan penggunaan lahan dan dampaknya terhadap karakteristik hidrologi sub DAS Tanralilli Provinsi Sulawesi Selatan menggunakan model SWAT [Tesis]. IPB. Bogor
- Suriadikusumah, A. dan G. Herdiansyah. 2014. Dampak beberapa penggunaan lahan terhadap erosi dan tingkat bahaya erosi di Sub-DAS Cisangkuy. *J. Agrin.*, 18:1-20.
- Verbist, B., A.E. Putra dan S. Budidarsono. 2004. Penyebab alih guna lahan dan akibatnya terhadap fungsi daerah aliran sungai (DAS) pada lansekap agroforestri berbasis kopi di Sumatera. *Agrivita*, 26(1):29-38.
- Widyastuti, F.R., Purwanto dan Hadiyanto. 2013. Upaya pengelolaan lingkungan usaha peternakan sapi di kawasan usahatani terpadu Bangka *Botanical Garden* Pangkalpinang. Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan 2013. ISBN 978-602-17001-1-2
-