

BEBERAPA SKENARIO PENGGUNAAN LAHAN UNTUK PERBAIKAN KONDISI HIDROLOGI DI DAERAH ALIRAN SUNGAI CIDURIAN

(Land use scenarios for hydrological conditions improvement in Cidurian Watershed)

Kartika Triasary¹, Muhammad Yanuar Jarwadi Purwanto², Suria Darma Tarigan³

¹Program Studi Ilmu Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan, Sekolah Pascasarjana
Institut Pertanian Bogor, Bogor, Jawa Barat, Indonesia

²Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik Pertanian, Institut Pertanian
Bogor, Bogor, Jawa Barat, Indonesia

³Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian
Bogor, Bogor, Jawa Barat, Indonesia

Email: kartikatriasary@gmail.com

Diterima: 19 Juni 2020; Direvisi: 21 Mei 2021; Disetujui: 22 Mei 2021

ABSTRACT

Cidurian Watershed is one of the watersheds in Java Island that is classified as a watershed to be restored. The performance of Cidurian Watershed, from upstream to downstream, is classified as poor. This research aims to 1) assess the hydrological characteristics of Cidurian Watershed using the SWAT (Soil and Water Assessment Tool) hydrological model; 2) assess the hydrological performance based on the prepared simulation scenarios; and 3) formulate successful strategies of Land and Forest Rehabilitation for Cidurian Watershed based on the best scenario. Various land use and management scenarios were simulated using SWAT to estimate their impact on the hydrological characteristics of the Cidurian Watershed. The applied scenarios are as follows: 1) Implementation of Spatial Planning of Banten and West Java Province; 2) Implementation of Forest and Land Rehabilitation with vegetative planting and; 3) Implementation of Forest and Land Rehabilitation for vegetative planting and combined with Soil and Water Conservation measures. The calibration and validation of the model showed a satisfactory category with NSE values of 0.53 and 0.50, respectively. All scenarios result in a better improvement on hydrological responses compared to the existing conditions in 2020. The surface runoff and sediment yield decreased and the lateral flow and base flow increased. The scenarios reduced the value of the Annual Flow Coefficient and Flow Regime Coefficient. Implementation of Forest and Land Rehabilitation and Soil and Water Conservation is the best scenario with Annual Flow Coefficient and Flow Regime Coefficient values 0,27 and 22.40.

Keywords: *Cidurian Watershed; land and forest rehabilitation; SWAT model; water and soil conservation*

ABSTRAK

Daerah Aliran Sungai (DAS) Cidurian merupakan salah satu DAS di Pulau Jawa dengan kategori sebagai DAS yang dipulihkan. Kinerja DAS Cidurian secara umum dari hulu sampai

dengan hilir termasuk dalam klasifikasi kategori buruk. Penelitian ini bertujuan untuk 1) mengkaji karakteristik hidrologi DAS Cidurian menggunakan model hidrologi SWAT; 2) mengkaji kinerja hidrologi berdasarkan skenario simulasi yang disusun; dan 3) menyusun strategi keberhasilan Rehabilitasi Hutan dan Lahan pada DAS Cidurian berdasarkan skenario terbaik. Berbagai skenario penggunaan lahan dan pengelolaannya diujicobakan menggunakan model SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) untuk menduga dampak penerapannya terhadap karakteristik hidrologi pada DAS Cidurian. Skenario yang diaplikasikan adalah sebagai berikut: 1) Implementasi RTRW (Rencana Tata Ruang Wilayah) Provinsi Banten dan Jawa Barat; 2) Implementasi Rehabilitasi Hutan dan Lahan dengan penanaman vegetatif dan; 3) Implementasi Rehabilitasi Hutan dan Lahan penanaman vegetatif dan Konservasi Tanah dan Air secara vegetatif dan sipil teknis. Kalibrasi dan validasi dari model menunjukkan kategori memuaskan dengan nilai NSE (*Nash-Sutcliffe Efficiency*) 0,53 dan 0,50. Semua skenario menunjukkan peningkatan respon hidrologi dibandingkan dengan kondisi eksisting tahun 2020. Ketiganya memberikan respon limpasan permukaan dan hasil sedimen yang menurun serta aliran lateral dan aliran dasar yang meningkat. Semua skenario ini menurunkan nilai Koefisien Aliran Tahunan (KAT) dan Koefisien Regim Aliran (KRA). Skenario penerapan kombinasi Rehabilitasi Hutan dan Lahan penanaman vegetatif dan Konservasi Tanah dan Air menjadi skenario terbaik dengan nilai KAT 0,27 (kategori rendah) dan KRA 22,40 (kategori rendah).

Kata kunci: DAS Cidurian; konservasi tanah dan air; model SWAT; rehabilitasi hutan dan lahan

I. PENDAHULUAN

Perubahan yang terjadi di bagian hulu DAS akan mempengaruhi kuantitas dan kualitas air di daerah hilir. Aktivitas perubahan tataguna lahan dan/atau pembuatan bangunan konservasi yang dilakukan pada hulu DAS tidak hanya akan memberikan dampak di wilayah tersebut, namun juga akan berdampak pada wilayah hilirnya. Dampak yang terjadi berupa perubahan fluktuasi debit air dan pengangkutan sedimen serta material terlarut dalam sistem aliran lainnya (Asdak, 2004). Adanya keterkaitan daerah hulu-hilir menunjukkan bahwa kondisi suatu DAS dapat digunakan sebagai satuan unit perencanaan sumberdaya alam termasuk pembangunan yang berkelanjutan (Asdak, 2004).

Dampak perubahan penggunaan lahan terhadap tata air sudah banyak diteliti. Perubahan penutupan lahan dan penggunaan lahan yang signifikan selama 5 tahun (2003 s.d. 2008) memiliki efek besar pada fungsi hidrologis DAS yang ditunjukkan pada peningkatan limpasan permukaan (5%), peningkatan hasil sedimen (6%) dan pengurangan aliran dasar (-11%) untuk seluruh DAS (Boongaling, Faustino-Eslava & Lansigan, 2018; Sunandar, Suhendang, Hendrayanto, Jaya & Marimin, 2016). Konversi hutan menjadi lahan pertanian mengakibatkan penurunan fungsi hutan dalam mengatur tata air, mencegah banjir, longsor dan erosi (Tarigan, Wiegand, Sunarti & Slamet, 2018; Tarigan, Stiegler, Wiegand, Knohl & Murtalaksono, 2020). Degradasi lahan dapat mengubah

karakteristik hidrologi DAS (Aladejana, Salami & Adetoro, 2018; Permatasari, Arwin & Natakusumah, 2017; Pratama & Yuwono, 2016; Salim, Dharmawan & Narendra, 2019; Supangat, 2012)

Salah satu DAS yang memiliki kondisi perubahan di hulu yang cukup signifikan dewasa ini adalah DAS Cidurian. Daerah Aliran Sungai Cidurian merupakan salah satu DAS di Pulau Jawa dengan kategori sebagai DAS yang dipulihkan (BPDASHL Citarum Ciliwung, 2019). Hasil kegiatan Monitoring dan Evaluasi Pengelolaan DAS Cidurian oleh BPDASHL Citarum Ciliwung tahun 2016 menunjukkan bahwa kondisi DAS tersebut dalam keadaan rusak. Kondisi DAS Cidurian berdasarkan data tutupan lahan tahun 2015 termasuk dalam kelas sangat buruk dikarenakan DAS Cidurian didominasi oleh pertanian lahan kering dan berlereng. Masalah utama dalam usaha tani pada lahan kering berlereng yang tidak menerapkan teknik konservasi tanah dan air (KTA) adalah terjadinya erosi tanah. Erosi tanah merupakan penyebab terjadinya kerusakan lahan pertanian berupa penurunan sifat fisik, kimia, dan biologi tanah, sehingga menurunkan produktivitas lahannya (Idjudin, 2011).

Tingginya persentase luas lahan pertanian di DAS Cidurian (75,02%) juga berkontribusi terhadap kondisi tata air di DAS Cidurian (BPDASHL Citarum Ciliwung, 2016). Hal ini karena pengelolaan lahan pertanian di DAS Cidurian belum sepenuhnya menerapkan praktek KTA sehingga air hujan yang jatuh dipermukaan tanah sebagian besar mengalir sebagai aliran permukaan (Dariah, Haryati & Budhyastoro, 2004).

Berdasarkan keadaan tersebut, DAS Cidurian sebagai DAS yang dipulihkan harus segera mendapatkan pengelolaan yang tepat.

Pemulihan lahan di DAS Cidurian didasari oleh penurunan kualitas atau degradasi lahan yang terjadi. Perubahan dalam penggunaan lahan dan kondisi iklim merupakan faktor terjadinya degradasi lahan. Degradasi lahan yang terjadi tidak hanya mempengaruhi kondisi petani di hulu, namun juga pengguna sumberdaya air di hilir (Valentin *et al.*, 2008). Menurut Prasetyo, Hasiholan, Hartomo, Paseleng & Nuswantoro (2013) lahan kritis didefinisikan sebagai lahan yang mengalami penurunan fungsi (degradasi) sampai ke tingkat tertentu yang disebabkan oleh kerusakan lahan. Fungsi yang dimaksud merupakan fungsi produksi dan sistem tata air.

Lahan kritis pada DAS Cidurian dengan kategori kritis dan sangat kritis berdasarkan Peta Lahan Kritis Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan tahun 2013 adalah 4.514,20 ha atau 5,27% sedangkan hasil perhitungan lahan kritis berdasarkan Peta Lahan Kritis tahun 2018, luas lahan kritis di DAS Cidurian mengalami peningkatan cukup signifikan menjadi 20.744,29 ha atau sebesar 24,21%. Sebaran lahan kritis pada DAS Cidurian hanya pada sub DAS Cidurian Hulu dan sub DAS Cibeureum. Hal ini terlihat dari analisis nilai Indeks Erosi (IE) seluruh DAS Cidurian sangat tinggi yaitu sebesar 12,38 dengan jumlah erosi aktual yang terjadi sangat besar, yaitu 90,34 ton/ha/tahun. Penyumbang erosi terbesar di sub DAS Cidurian Hulu dan sub DAS Cibeureum dengan nilai IE kategori sangat

tinggi sebesar 17,78 dan 13,87 (BPDASHL Citarum Ciliwung, 2016).

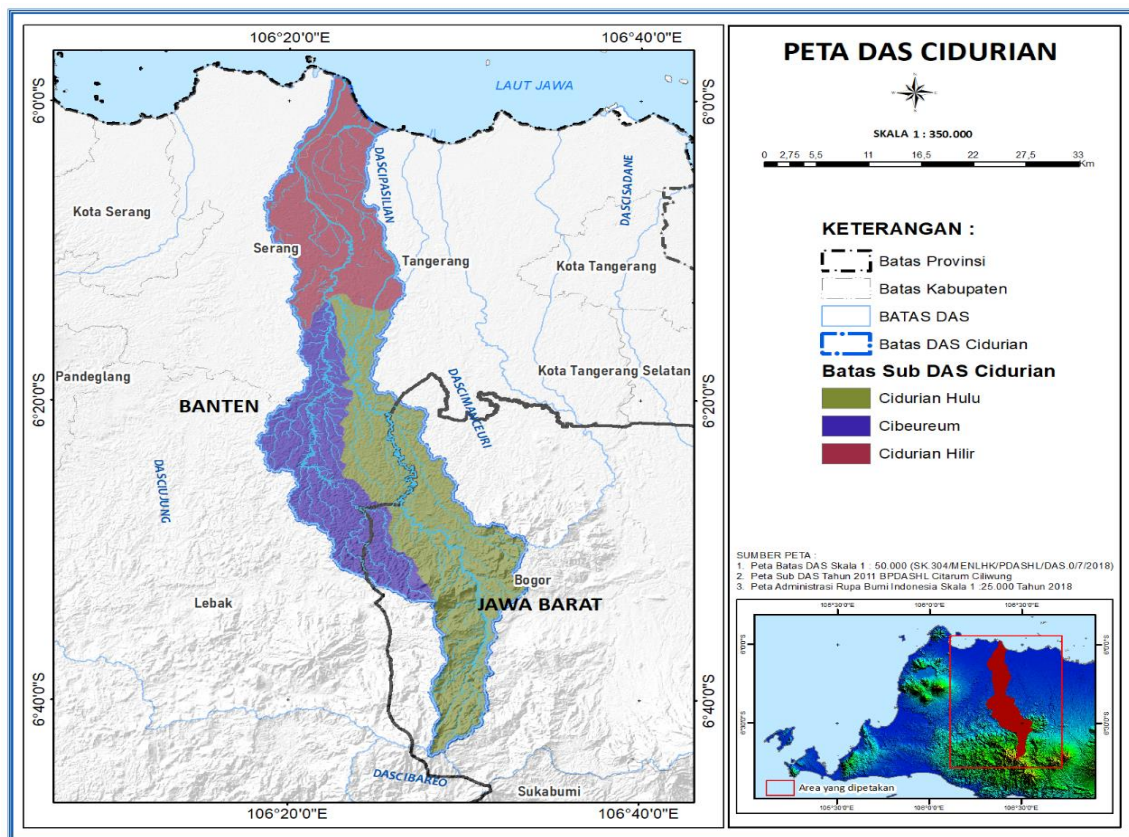
Kondisi DAS Cidurian yang terus memburuk dapat menjadi pemicu terjadinya bencana alam. Bencana yang pernah terjadi di DAS Cidurian antara lain bencana banjir bandang yang pernah terjadi dua tahun berturut-turut, yaitu pada bulan Maret 2017 dan April 2018 di Kecamatan Jasinga (Desa Kalong Sawah, Desa Pamagersari, Desa Pangradin, Desa Sipak, Desa Koleang) dan Kecamatan Cigudeg (Desa Sukamaju). Kejadian bencana terbaru yang terjadi di DAS Cidurian adalah banjir bandang dan tanah longsor pada awal tahun 2020. Program Rehabilitasi Hutan dan Lahan (RHL) dapat dilakukan untuk memperbaiki kondisi hidrologi DAS Cidurian. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji karakteristik

hidrologi DAS Cidurian menggunakan model hidrologi SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*), mengkaji kinerja hidrologi berdasarkan skenario simulasi yang disusun, dan mendapatkan alternatif pengelolaan lahan terbaik untuk DAS Cidurian berdasarkan skenario terbaik.

II. BAHAN DAN METODE

A. Waktu dan Lokasi

Penelitian ini dilaksanakan di DAS Cidurian yang memiliki luas 85.676,39 ha. Secara administrasi, DAS Cidurian berada pada wilayah Provinsi Banten (Kabupaten Tangerang, Lebak dan Serang) dan Provinsi Jawa Barat (Kabupaten Bogor). Pengambilan data pada penelitian ini dilaksanakan selama 2 tahun sejak Juni 2018 sampai dengan Juni 2020. Peta lokasi penelitian disajikan pada Gambar 1.



Gambar (Figure) 1. Peta lokasi penelitian di DAS Cidurian (*The study area map of Cidurian Watershed*)
 Sumber (Source): BPDASHL Citarum Ciliwung, 2019

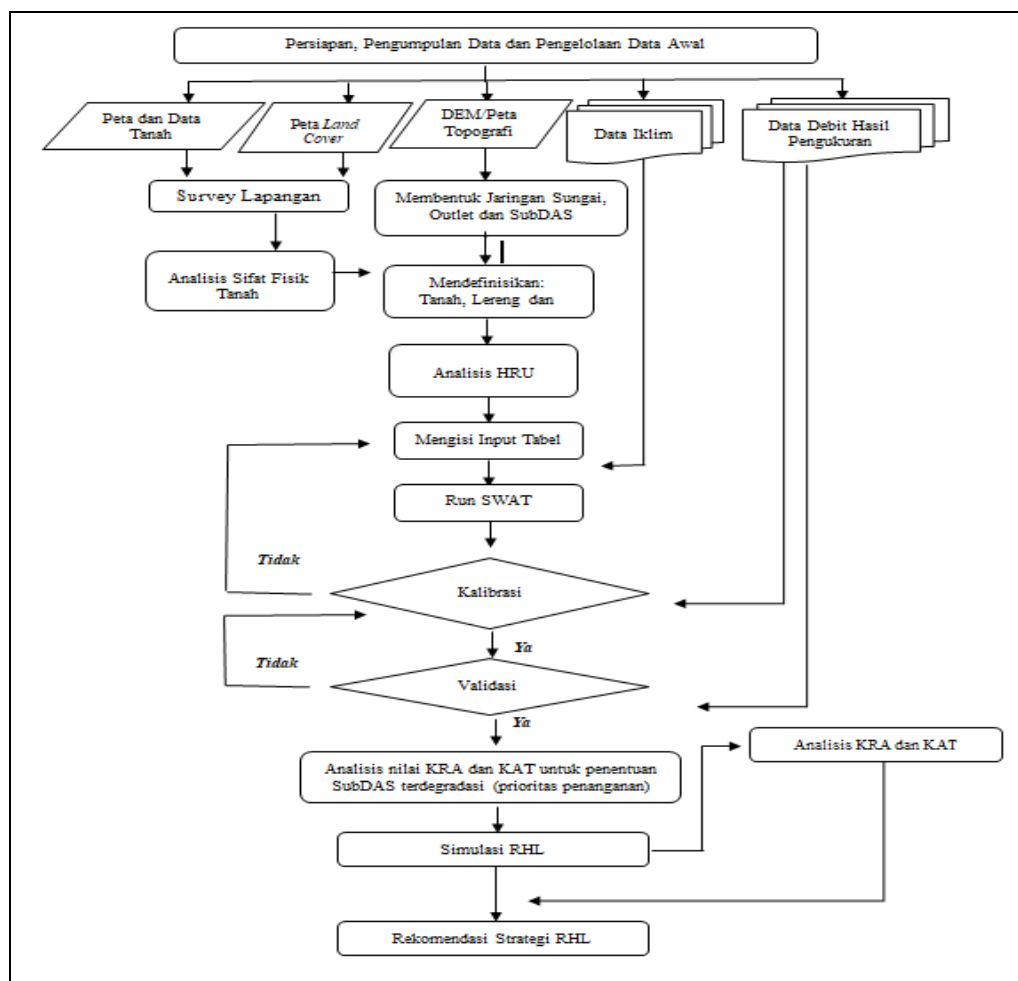
B. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data sekunder dan data primer. Data primer diperoleh melalui hasil cek lapangan dan wawancara, sedangkan data sekunder diperoleh dari instansi terkait berupa data spasial berupa peta dasar, seperti peta batas DAS dan peta Rupa Bumi Indonesia (RBI); dan peta tematik, seperti peta penutupan lahan, peta tanah, peta lahan kritis tahun 2018, dan peta RTRW Provinsi Jawa Barat dan Banten. Data sekunder yang lain adalah data iklim (suhu udara, kelembaban udara, kecepatan angin, dan radiasi matahari tahun 2009 s.d. 2019), data curah hujan

harian tahun 2009 s.d. 2019, dan data debit rata-rata harian tahun 2009 s.d. 2019. Data curah hujan dan debit diambil dari semua stasiun hujan dan stasiun pengukuran di wilayah penelitian. Peralatan yang digunakan dalam penelitian adalah seperangkat komputer dengan perangkat lunak ArcGIS 10.3, ArcSWAT 2012 dan Microsoft Office 2010, *Global Position System* (GPS), penyimpanan data (*hard disk*) dan alat tulis menulis.

C. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan yang dituangkan dalam diagram alir sebagaimana pada Gambar 2.



Gambar (Figure) 2. Diagram alir tahapan penelitian (Research Flowchart)

1. Pengumpulan Data dan Survei Lapangan

Penelitian dimulai dengan melakukan studi pustaka. Studi pustaka dilakukan untuk mendapatkan literatur dan referensi terkait penelitian. Kegiatan selanjutnya yang dilakukan adalah pengumpulan data sekunder dan primer. Pengumpulan data sekunder berupa penelusuran data pada instansi terkait. Data primer berupa data sampel tanah dan penggunaan lahan eksisting diperoleh dari hasil survei lapangan. Sampel tanah dianalisis di laboratorium tanah untuk mengetahui data karakteristik fisik dan kimia tanah (jumlah dan kedalaman lapisan tanah, batuan dalam tanah, tekstur tanah, kelompok hidrologi tanah, dan C-organik). Beberapa data hasil laboratorium digunakan untuk menghitung *input* tanah lainnya yaitu nilai *erodibilitas* tanah dan *albedo* tanah. Kegiatan cek lapangan dilakukan untuk menyediakan informasi jenis penggunaan lahan eksisting di lapangan, karakteristik penutupan lahan jenis pengelolaan lahan yang diterapkan masyarakat, ada tidaknya aplikasi tindakan KTA serta kondisi drainase.

2. Analisis Penutupan Lahan

Analisis penutupan lahan menggunakan peta penutupan lahan yang bersumber dari Direktorat Jenderal Planologi Kehutanan dan Tata Lingkungan KLHK tahun 2009 dan 2019 dengan skala 1:250.000. Pengolahan data atribut peta dimulai dengan melakukan *export* data atribut ke dalam bentuk *.dbf*, kemudian dilakukan *insert pivot table* pada *microsoft excel*. Luas penutupan lahan didapatkan dengan cara menghitung luas masing-masing tipe penutupan lahan. Informasi

penutupan lahan terbaru pada lokasi kejadian bencana didapatkan dari Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) berupa Citra resolusi spasial tinggi tahun 2019 dan citra drone yang diambil langsung pada lokasi kejadian bencana Tahun 2020.

3. Analisis dan *Running Data* SWAT

Analisis data menggunakan aplikasi SWAT dimulai dengan mempersiapkan data masukan untuk menjalankan SWAT. Batas DAS yang digunakan sebagai lokasi penelitian didelineasi secara otomatis berdasarkan batas topografi alaminya yaitu bersumber dari data *Digital Elevation Model* (DEM). Proses delineasi sub DAS oleh model SWAT juga akan menghasilkan jaringan sungai. Pembagian DAS menjadi beberapa *sub basin* dilakukan dengan model SWAT, dimana satu jaringan utama dimiliki oleh setiap *sub basin*. Selanjutnya, Unit HRU (*Hydrologic Response Unit*) akan dibentuk melalui proses tumpang susun data penggunaan lahan, tanah, dan kemiringan lereng. Posisi HRU tersebar pada masing-masing *sub basin* yang dapat menggambarkan keadaan biofisik masing-masing *sub basin* ke dalam unit respon tunggal (*single response unit*) dengan menggabungkan semua area yang memiliki kondisi jenis tanah, lereng, dan penggunaan lahan yang sama. Proses pembentukan HRU di setiap sub DAS di DAS Cidurian menggunakan metode *threshold by percentage* dengan persentase masing-masing untuk jenis tanah, tutupan lahan, dan lereng sebesar 0%.

Data *input* selanjutnya adalah basis data iklim dilakukan pada menu *Weather*

Data Definition. Data generator iklim dalam model berupa 14 parameter (Tabel 1) basis data iklim dari stasiun klimatologi terdekat dan pada prinsipnya dapat menggambarkan kondisi iklim di DAS yang dianalisis. Masukan data pada tahap ini

adalah stasiun iklim (*weather generator data*), curah hujan (*rainfall data*), temperatur (*temperatur data*), kelembaban (*relative humidity data*), radiasi matahari (*solar radiation data*), dan kecepatan angin (*wind speed data*).

Tabel 1. Parameter yang dibutuhkan untuk input data generator iklim (*Parameters needed for climate generator data input*)

No	Parameter	Keterangan
1	TMPMX	rata-rata temperatur maksimum (°C)
2	TMPMN	rata-rata temperatur minimum (°C)
3	TMPSTDMX	standar deviasi suhu maksimum harian (°C)
4	TMPSTDMN	standar deviasi suhu minimum harian (°C)
5	PCPMM	rata-rata curah hujan (mm H ₂ O)
6	PCPSTD	standar deviasi curah hujan harian (mm H ₂ O hari-1)
7	PCPSKW	koefisien skew untuk curah hujan harian dalam satu bulan
8	PR_W1	perbandingan kemungkinan hari basah ke hari kering dalam satu bulan
9	PR_W2	perbandingan kemungkinan hari basah ke hari basah dalam satu bulan
10	PCPD	rata-rata jumlah hari hujan dalam satu bulan
11	RAINHHMX	curah hujan maksimum 0,5 jam (mm H ₂ O)
12	SOLARAV	rata-rata harian penyinaran matahari dalam satu bulan (MJ m-2hari-1)
13	DEWPT	rata-rata harian temperatur dew point dalam satu bulan (°C)
14	WNDVAV	rata-rata harian kecepatan angin dalam satu bulan (m det-1)

Sumber (*Source*): Neitsch, Arnold, Kiniry & Williams (2011)

Setelah data iklim dimasukkan dan berhasil *running*, maka tahap selanjutnya adalah memasukan informasi data masukan ke dalam basis data. Data masukan model SWAT pada tahap deliniasi DAS, analisis HRU, dan masukan data iklim terbentuk secara otomatis dengan memilih sub menu *Write All*. Data masukan Model SWAT dapat diperbaiki melalui menu *Edit SWAT*. Hasil dari model SWAT berupa *output file* untuk masing-masing *sub basin*, HRU dan sungai yaitu *file sub basin (output.sub)*, *file HRU (output.hru)* dan *file sungai utama (output.rch)*. Masing-masing *sub basin (output.sub)* dan HRU (*output.hru*) terdiri dari informasi jumlah curah hujan (PRECIP), evapotranspirasi potensial (PET)

dan aktual (ET), kandungan air tanah (SW), perkolasi (PERC), aliran permukaan (SURQ), aliran lateral (LATQ), aliran dasar (GW_Q) dan hasil air (WYLD). Masing-masing sungai utama (*output.rch*) dalam *sub basin* terdiri dari informasi jumlah aliran yang masuk ke sungai (FLOW_IN) dan keluar (FLOW_OUT), jumlah kehilangan air dari sungai melalui evaporasi (EVAP), dan transmisi (TLOSS).

4. Kalibrasi dan Validasi Model SWAT

Kalibrasi bertujuan untuk menyesuaikan parameter model dengan kondisi eksisting. Hal ini dilakukan untuk mengurangi ketidakpastian prediksi. Pemilihan nilai-nilai untuk *input* parameter model pada kalibrasi dilakukan secara hati-hati dalam masing-masing rentang

ketidakpastian, yaitu dilakukan dengan membandingkan data prediksi model (*output*) dengan data observasi untuk satu set kondisi yang diasumsikan sama (Arnold *et al.*, 2012). Pengujian keakuratan *output* model dilakukan dengan menggunakan persamaan efisiensi model *Nash-Sutcliffe Efficiency* (NSE) dengan persamaan:

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

Dengan Y_i^{obs} adalah data observasi ke-i, Y_i^{sim} adalah data simulasi ke-i, \bar{Y}^{obs} adalah data observasi rata-rata, dan n merupakan jumlah observasi. Efisiensi model NSE yang disajikan pada Tabel 2 dikelompokkan menjadi 4 kategori, yaitu kategori sangat baik, baik, memuaskan dan tidak memuaskan. Akurasi pola hasil *output* model yang dibandingkan dengan pengukuran lapangan dihitung menggunakan koefisien determinasi (R^2) dengan persamaan:

$$R^2 = \frac{(O - \bar{O})^2 - (O - P)^2}{(O - \bar{O})^2} \dots\dots\dots (2)$$

Dengan O merupakan data observasi, \bar{O} merupakan data observasi rata-rata, dan P merupakan data simulasi.

Banyaknya sebaran data observasi yang dapat dijelaskan oleh data simulasi, digambarkan oleh kisaran nilai R^2 diantara 0 dan 1. Semakin tinggi nilai R^2 mengindikasikan varian eror yang rendah. Nilai R^2 sama dengan 0 menunjukkan bahwa tidak terdapat korelasi sama sekali, sedangkan jika R^2 bernilai 1 maka sebaran data prediksi sama dengan data observasi. Nilai R^2 dianggap dapat diterima jika $R^2 \geq 0.5$ (Santhi *et al.*, 2001 dan Liew *et al.*, 2003 dalam Moriasi, Arnold, Liew, Bingner, Harmel & Veith, 2007) dan simulasi skenario yang diinginkan dapat menggunakan model yang telah dibuat. Apabila nilai $R^2 < 0.5$ maka simulasi model tidak dapat dilakukan, dan perlu dilakukan pengulangan proses analisis model dengan perbaikan *input* datanya.

Pengujian konsistensi hasil dari suatu model dilakukan dalam tahap validasi, dimana model dijalankan dengan parameter yang telah ditentukan selama proses kalibrasi. Selanjutnya dilakukan perbandingan data prediksi dan data observasi yang tidak digunakan dalam kalibrasi. Model R^2 dan model efisiensi NSE merupakan model statistik yang digunakan dalam validasi, dimana kriterianya sama seperti digunakan dalam proses kalibrasi.

Tabel (Table) 2. Tingkat performa model NSE (*Classification of NSE model performance*)

Tingkat Performa	NSE
Sangat baik	$0,75 \leq NSE \leq 1,00$
Baik	$0,65 \leq NSE \leq 0,75$
Memuaskan	$0,50 \leq NSE \leq 0,65$
Tidak memuaskan	$NSE \leq 0,50$

Sumber (Source): Moriasi, Arnold, Liew, Bingner, Harmel & Veith, (2007)

Keterangan (Remarks): NSE: *Nash-Sutcliffe Efficiency*

5. Analisis Kinerja Hidrologi DAS

Debit aliran sungai merupakan faktor yang dapat dianalisis untuk mengetahui kondisi DAS secara umum. Koefisien Regim Sungai (KRS) dan Koefisien aliran permukaan (C) merupakan analisis yang dapat menyatakan kondisi DAS berdasarkan debit sungainya. Berdasarkan Peraturan Menteri Kehutanan Republik Indonesia No.61/Menhut-II/2014 Tentang Monitoring Dan Evaluasi Pengelolaan Daerah Aliran Sungai, Koefisien Regim Sungai diistilahkan dengan Koefisien Regim Aliran (KRS = KRA) dan Koefisien Aliran Permukaan merupakan Koefisien Aliran Tahunan (C = KAT).

6. Simulasi Skenario Pengelolaan Lahan

Strategi pengelolaan DAS untuk memulihkan hutan dan lahan terdegradasi melalui kegiatan RHL dan KTA dapat dikembangkan pada DAS Cidurian dimulai pada sub DAS yang paling rentan terhadap degradasi. Program RHL merupakan upaya untuk memulihkan, meningkatkan, serta mempertahankan fungsi hutan dan lahan sehingga dalam mendukung sistem penyangga kehidupan, daya dukung produktivitas dan peranannya terjaga. Program RHL adalah program yang kompleks, karena menyangkut banyak aspek, memerlukan jangka waktu yang lama (*multi years*), melibatkan berbagai pihak, menggunakan sumberdaya yang banyak dan rumitnya manajerial serta tingginya resiko kegagalan pencapaian tujuan RHL.

Analisis respon hidrologi dilakukan berdasarkan kondisi penggunaan lahan saat ini (*existing*) dan beberapa simulasi yang merupakan implementasi dokumen perencanaan yang disusun oleh

pemerintah daerah dan pemerintah pusat. Simulasi yang dilakukan adalah (1) Penerapan kondisi eksisting kejadian bencana banjir dan tanah longsor Tahun 2019 hingga Februari Tahun 2020, (2) Penerapan RTRW Provinsi Banten dan Jawa Barat, (3) Penerapan RHL dengan Penanaman (vegetatif) pada lahan kritis dan (4) Penerapan kombinasi RHL dengan penanaman (vegetatif) pada lahan kritis dan KTA secara vegetatif dan sipil teknis. Penerapan RHL secara vegetatif dan sipil teknis sebagai skenario pengelolaan DAS Cidurian didasari pada hasil penelitian pengelolaan DAS yang telah dilakukan. Penelitian tersebut menyatakan bahwa Teknik KTA dan perbaikan vegetasi lahan dapat memperbaiki kondisi hidrologi pada suatu DAS (Uniyal, Jha, Verma & Anebagilu, 2020; Welde & Gebremariam, 2017).

7. Rekomendasi Skenario Pengelolaan Lahan Terbaik

Tahap ini merupakan tahap untuk mendapatkan alternatif pengelolaan lahan terbaik dalam rangka mewujudkan kondisi lahan yang produktif sesuai dengan daya dukung dan daya tampung lingkungan DAS yang berkelanjutan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Luaran Model SWAT

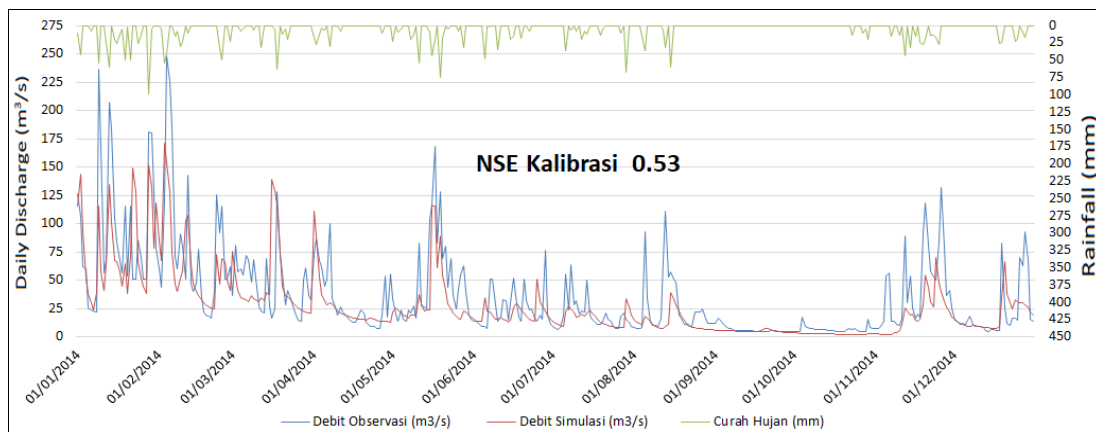
Berdasarkan proses deliniasi DAS Cidurian dengan titik *outlet* Pos Duga Air Cikande Parigi menghasilkan areal DAS Cidurian seluas 70.251,69 ha dengan ambang batas area (*threshold area*) sebesar 1500 ha. Jumlah *sub basin* yang terbentuk sebanyak 21 *sub basin*/sub DAS. *Hydrologic Response Unit* (HRU) merupakan unit analisis terkecil yang

digunakan dalam perhitungan pada model SWAT. Terdapat 743 HRU di DAS Cidurian.

B. Kalibrasi dan Validasi Model

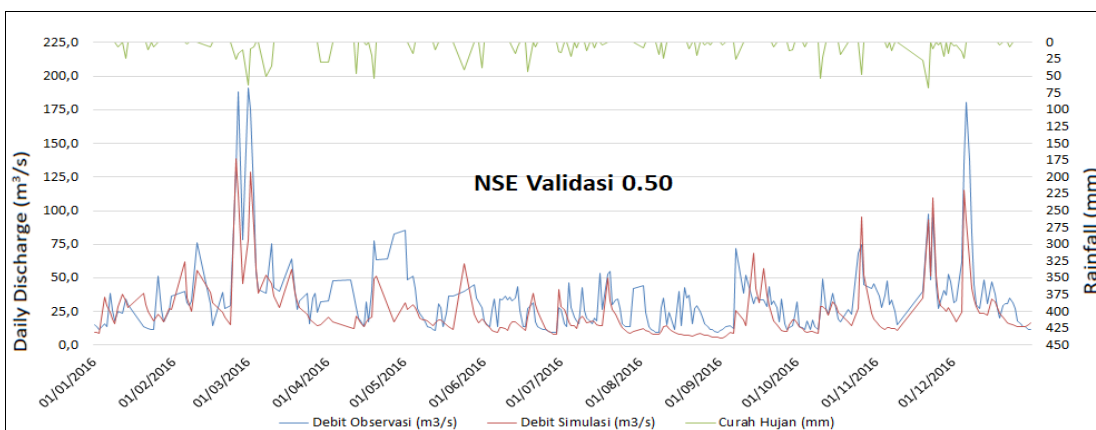
Kalibrasi dilakukan pada data tahun 2014 menggunakan data debit tahun 2014 periode harian dari tanggal 1 Januari sampai 31 Desember 2014 dari outlet Cikande Parigi. Nilai NSE dan R² setelah proses kalibrasi secara berurutan adalah 0,53 dan 0,587. Nilai NSE masuk dalam kategori memuaskan sehingga dapat digunakan untuk analisis lanjut. Nilai R² ≥ 0,5 diasumsikan dapat diterima. Hidrograf aliran debit simulasi dan observasi setelah dilakukan kalibrasi 1 Januari-31 Desember 2014 dilampirkan pada Gambar 3.

Perbandingan data debit observasi terhadap data debit simulasi model dilakukan pada tahap validasi. Data debit simulasi model menggunakan parameter yang sudah dikalibrasi pada periode tahun 2016. Uji validasi data tahun 2016 menghasilkan nilai NSE sebesar 0,50 (kategori memuaskan) dan nilai R² sebesar 0,62. Nilai NSE dan nilai R² hasil validasi sudah memenuhi, sehingga Model SWAT dapat digunakan untuk simulasi dan prediksi hidrologi dalam di DAS Cidurian. Hidrograf debit simulasi dan observasi hasil validasi disampaikan pada Gambar 4.



Gambar (Figure) 3. Hidrograf simulasi dan observasi setelah kalibrasi (*Hydrograf of simulation and observation after callibration*)

Sumber (Source): Analisis SWAT (SWAT analysis)



Gambar (Figure) 4. Hidrograf simulasi dan observasi setelah validasi (*Hydrograf of simulation and observation after validation*)

Sumber (Source): Analisis SWAT (SWAT analysis)

C. Analisis Simulasi Hidrologi DAS Cidurian

Perbandingan karakteristik hidrologi DAS Cidurian pada periode tahun 2018 dan 2019-2020 disajikan pada Tabel 3. Karakteristik hidrologi di DAS Cidurian pada periode tahun 2018 dan 2019-2020 tidak berbeda secara signifikan. Hal ini ditunjukkan dari KAT pada tahunan 2019-2020 sedikit lebih rendah dibandingkan koefisien aliran tahunan pada tahun 2018 di DAS Cidurian, dimana KAT pada tahun 2018 masuk ke dalam kategori sangat tinggi dan KAT pada tahun 2019-2020 masuk ke dalam kategori tinggi. Nilai KAT dalam kategori tinggi dan sangat tinggi menunjukkan adanya dampak dari pemulihan yang terus dilakukan.

Curah hujan yang tinggi pada saat kejadian merupakan salah satu penyebab banjir dan longsor di awal tahun 2020. Selain itu, banjir dan tanah longsor juga disebabkan oleh perubahan fungsi lahan dan kondisi lahan kritis. Luas lahan kritis di sub DAS Cidurian hulu dan sub DAS Cibeureum mencapai 24,10% memberikan kontribusi besar terjadinya bencana. Berdasarkan analisis GIS (*Geographic Information System*) tumpang susun Peta Penutupan Lahan Tahun 2018 dan Peta

Kawasan Hutan, luas lahan non hutan di dalam kawasan hutan pada sub DAS Cidurian Hulu dan Cibeureum mencapai 3.090,89 ha (36,51%). Hasil pengecekan di lapangan menunjukkan bahwa lahan pertanian sebagian besar tanpa penerapan teknik KTA. Hal ini merupakan salah satu pemicu terjadinya kekritisian lahan, sehingga respon hidrologi DAS Cidurian juga buruk. Menurut hasil laporan BPDASHL Citarum Ciliwung tahun 2020, bencana diduga disebabkan oleh beberapa hal, antara lain curah hujan, jenis tanah, dan kejadian longsor. Curah hujan yang tinggi mencapai 210 mm. Jenis tanah yang labil dan rawan erosi (Podsolik dan Latosol). Terjadinya longsor di daerah hulu yang menyumbat aliran air sungai. Hal ini menyebabkan air sungai terbandung dan memicu terjadinya banjir bandang. Kejadian ini menyebabkan adanya indikasi penambahan luasan zona rehabilitasi sebanyak 13,52%. Indikasi penambahan luasan zona rehabilitasi tahun 2019 ini dibuat berdasarkan perubahan lahan yang cukup signifikan.

Pemodelan hidrologi memiliki peran penting dalam pengelolaan DAS dan simulasi kemungkinan perubahan fitur dan dampaknya. Penggunaan model ini

Tabel (Table) 3. Karakteristik hidrologi DAS Cidurian pada periode 2018 dan 2019-2020 (*Hydrology Characteristic of Cidurian Watershed in 2018 and 2019-2020*)

Karakteristik Hidrologi	Tahun 2018	Tahun 2019-2020
Curah Hujan (mm)	1.591,45	1806
Aliran Permukaan (mm)	740,13	748,45
Aliran Lateral (mm)	80,14	92,51
Aliran Dasar (mm)	53,34	49,8
Sedimen	156,16	112,35
Koefisien Aliran Tahunan (KAT)	0,52 (Kategori Sangat Tinggi)	0,47 (Kategori Tinggi)
Koefisien Regim Aliran (KRA)	448,94 (Kategori Sangat Tinggi)	381,36 (Kategori Sangat Tinggi)

Sumber (Source): Analisis SWAT (*SWAT analysis*)

langkah-langkah perbaikan pengelolaan DAS (Krysanova *et al.*, 2014). Skenario 1 merupakan simulasi yang mengacu pada arahan kebijakan tata ruang RTRW Provinsi Banten tahun 2010 s.d. 2030 dan Provinsi Jawa Barat tahun 2009 s.d. 2029.

Penerapan skenario 1 menghasilkan penurunan aliran permukaan serta hasil sedimen sebesar 4,77% dan 62,03%, peningkatan aliran bawah permukaan 3,11% dan aliran dasar sebesar 157,39%. Respon hidrologi pada penerapan skenario 1 tidak memiliki perbedaan yang terlalu signifikan dengan lahan eksisting, walaupun sudah menunjukkan perbaikan pada respon hidrologi.

Penerapan skenario 2 menghasilkan penurunan aliran permukaan sebesar 52,68% dari kondisi eksisting tahun 2020 dan menyebabkan peningkatan aliran lateral dan aliran dasar 54,87% dan 289,97%. Nilai hasil sedimen yang terangkut oleh air pada skenario 2 berkurang sebesar 93,44% dari kondisi eksisting. Sebagai perbandingan, penelitian yang dilakukan Wangpimool, Pongput, Sukvibool, Sombatpanit & Gassman (2013) di hulu DAS Sungai Nan

Thailand. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa penerapan rehabilitasi hutan rusak dan kombinasi rehabilitasi hutan rusak, kebun dan lahan pertanian akan meningkatkan aliran sungai tahunan pada musim kemarau sekitar 3% dan mengurangi aliran pada musim hujan sekitar 3% pada sungai utama dan anak-anak sungainya. Kegiatan penanaman RHL pada DAS Cidurian disajikan pada Tabel 4.

Penghijauan lingkungan dapat dilakukan pada areal ruang terbuka hijau dan lahan kosong yang diperuntukan sebagai fasilitas umum dan fasilitas sosial, wilayah-wilayah perlindungan setempat seperti sempadan sungai, tebing jalan, ruang terbuka hijau, jalur hijau, pemukiman dan taman. Berdasarkan analisis respon hidrologi penerapan skenario 2 hasil dari nilai KAT adalah sebesar 0,28 yang termasuk kategori rendah (R) dan KRA sebesar 23,41 termasuk kategori rendah (R). Analisis respon hidrologi per sub DAS pada setiap skenario adalah sebagaimana terlampir pada Tabel 5.

Tabel (Table) 4. Kegiatan penanaman vegetatif di DAS Cidurian (*vegetative planting in Cidurian Watershed*)

Kawasan	Luas (ha)	Kegiatan RHL
Kawasan Hutan	2.351,19	Reboisasi Intensif dan Agroforestri
Luar Kawasan Hutan	17.644,54	Penghijauan, melalui pembangunan hutan rakyat, hutan kota, dan agroforestri dengan sasaran pada areal lahan terbuka, semak belukar, pertanian lahan kering/pertanian lahan kering campur semak, dan kebun campuran

Tabel (Table) 5. Kategori KAT per sub DAS pada berbagai simulasi model SWAT (KAT categories of sub basin in various SWAT simulation models)

Kategori KAT	Simulasi Model Swat				
	Eksisting 2018	Eksisting 2019-2020	Skenario 1 (RTRW)	Skenario 2 (RHL vegetatif)	Skenario 3 (RHL vegetatif dan KTA)
	Sub DAS	Sub DAS	Sub DAS	Sub DAS	Sub DAS
Sangat Rendah				2, 3, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, dan 20	2, 3, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, dan 20
Rendah			1, 3, 9, 14, 15, 16, 17, 18, dan 20	1, 4, 5, 6, 7, 19, dan 21	1, 4, 5, 6, 7, 19, dan 21
Sedang	2, 3, dan 4	2, 3, dan 4	10, 11, 12, 13, 19, dan 21		
Tinggi	1, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 17, 18, 20, dan 21	1, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 14, 15, 16, 17, 18, 19, dan 20	5		
Sangat Tinggi	10, 13, 14, 15, 16, dan 19	10, 12, 13, dan 21			

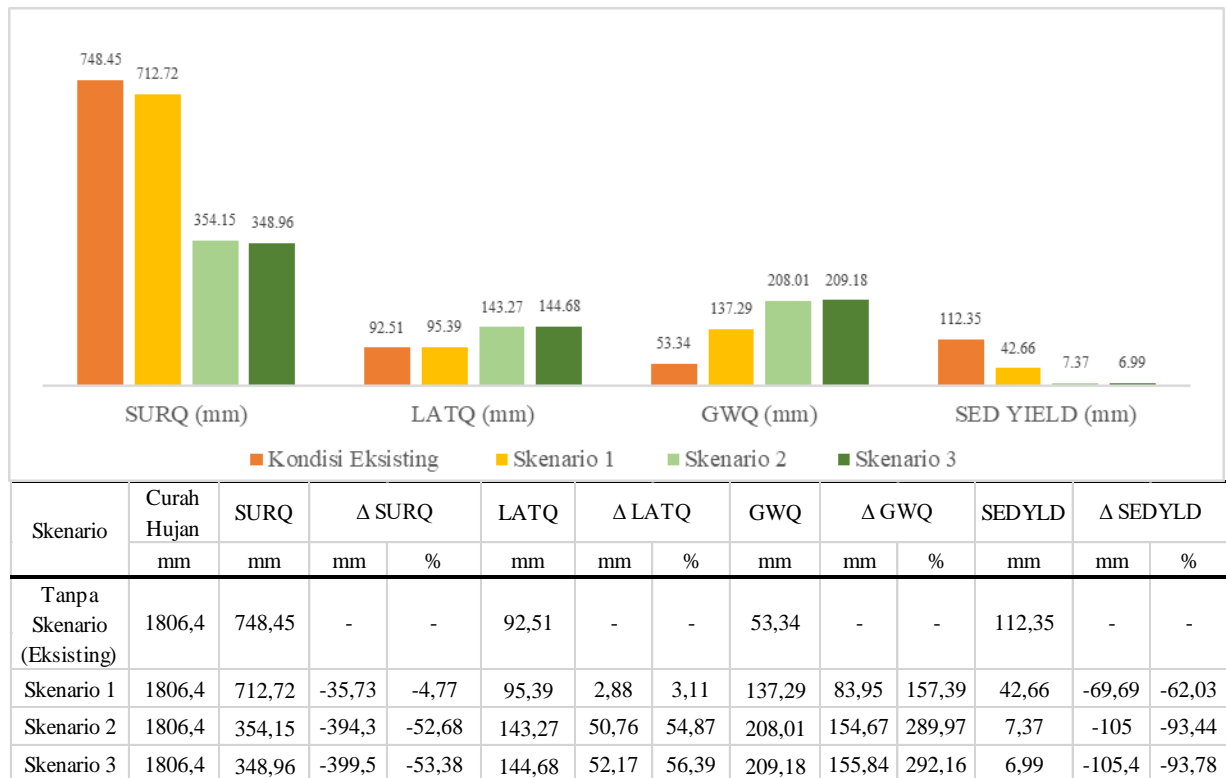
Sumber (Source): Analisis SWAT (SWAT analysis)

Bangunan non struktur yang dilakukan berupa penerapan *countouring* dan Saluran Pembuangan Air (SPA). Hal ini bertujuan untuk menurunkan aliran permukaan, mencegah terjadinya erosi, meningkatkan resapan air ke dalam tanah, serta menampung dan mengendalikan aliran air ke daerah yang lebih rendah secara aman.

Hasil simulasi penerapan skenario 3 mampu menurunkan aliran permukaan sebesar 53,38% serta meningkatkan aliran lateral dan aliran dasar sebanyak 56,39% dan 292,16% terhadap kondisi eksisting. Nilai hasil sedimen yang terangkut oleh air pada skenario 3 berkurang sebesar 93,78%. Hal ini menunjukkan kesamaan pada penelitian dari Phomcha, Wirojanagud, Vangpaisal & Thaveevouthti (2012) yang juga menggunakan model SWAT. Hasil penelitian Phomcha *et al.* (2012) menunjukkan bahwa kombinasi

reboisasi serta KTA berupa pembuatan mulsa dan penanaman jalur (*strip cropping*) di DAS Sungai Lam Sonthi Thailand merupakan praktek konservasi tanah yang paling efektif. Kombinasi reboisasi dan KTA ini mengurangi sedimen sebanyak 55,7%.

Berdasarkan karakteristik hidrologi, ketiga skenario mampu menurunkan aliran permukaan (SURQ) dan hasil sedimen (SEDYLD) serta menaikkan aliran lateral (LATQ) dan aliran dasar (GWQ). Hasil dari simulasi SWAT pada kondisi eksisting tahun 2019 s.d. 2020 dan penetapan skenario 1, 2, 3 menunjukkan hasil karakteristik hidrologi yang berbeda-beda. Penggunaan lahan dan perlakuan kegiatan RHL sangat mempengaruhi nilai aliran permukaan, aliran lateral, aliran dasar dan hasil sedimen. Respon hidrologi pada berbagai skenario disajikan pada Gambar 5.



Gambar (Figure) 5. Respon hidrologi pada berbagai skenario (*Hydrology response of various scenarios*)

Sumber (Source): Analisis SWAT (*SWAT analysis*)

D. Rekomendasi Skenario Pengelolaan Lahan Terbaik di DAS Cidurian

Berdasarkan simulasi ketiga skenario dan perbandingannya dengan kondisi eksisting (tanpa skenario), maka skenario 3 yaitu penerapan penanaman RHL (vegetatif) dengan KTA secara vegetatif dan sipil teknis merupakan skenario yang terbaik dalam menurunkan aliran permukaan dan hasil sedimen, serta meningkatkan aliran lateral dan aliran dasar. Kemampuan mengurangi aliran permukaan serta menaikkan aliran lateral dan aliran dasar merupakan bagian yang akan menyuplai aliran sungai pada musim kemarau, sehingga dapat menjamin keberlangsungan aliran sungai pada musim kemarau. Penelitian Uniyal, Jha, Verma & Anebagilu (2020) yang menggunakan model SWAT membuktikan

bahwa penerapan praktek pengelolaan terbaik pada DAS Baitarani di India Timur dapat mengurangi limpasan permukaan dan sedimen. Limpasan permukaan berkurang sebesar 4-14% dan hasil sedimen 76-80% dibandingkan dengan kondisi eksisting. Welde & Gebremariam (2017) menunjukkan bahwa adanya hubungan langsung antara hasil sedimen dan aliran permukaan melalui simulasi penelitian. Penelitian ini menunjukkan bahwa peningkatan lahan pertanian dan lahan terbuka meningkatkan aliran permukaan sebanyak 6,20%. Peningkatan lahan pertanian dan lahan terbuka juga meningkatkan hasil sedimen sebanyak 17,39%.

Berdasarkan nilai KAT, skenario 3 menghasilkan nilai yang paling kecil jika dibandingkan dengan skenario lainnya

yaitu nilai KAT 0,27 dan KRA 22,40 yang termasuk kategori rendah. Nilai KAT dalam kurun waktu tertentu dapat mendeskripsikan respon kondisi suatu DAS terhadap masukan air hujan. Hal ini yang menjadi gambaran kesehatan suatu DAS ditinjau dari aspek tata air. Besar kecilnya KRA menggambarkan keberlanjutan aliran sungai yang dapat dijaga atau tidak sepanjang tahun. Nilai KAT dan KRA pada beberapa penerapan skenario di DAS Cidurian disajikan pada Tabel 6 dan peta sebaran kategori nilai KAT per sub DAS pada kondisi eksisting dan penerapan skenario digambarkan pada Gambar 6.

Penerapan skenario 3 pada DAS Cidurian secara spasial berada pada sub DAS Cidurian Hulu dan sub DAS

Cibeureum. Berdasarkan sub DAS hasil analisis SWAT, penerapan skenario 3 dilakukan pada 14 sub DAS yaitu 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16,17, 18, 19, 20 dan 21.

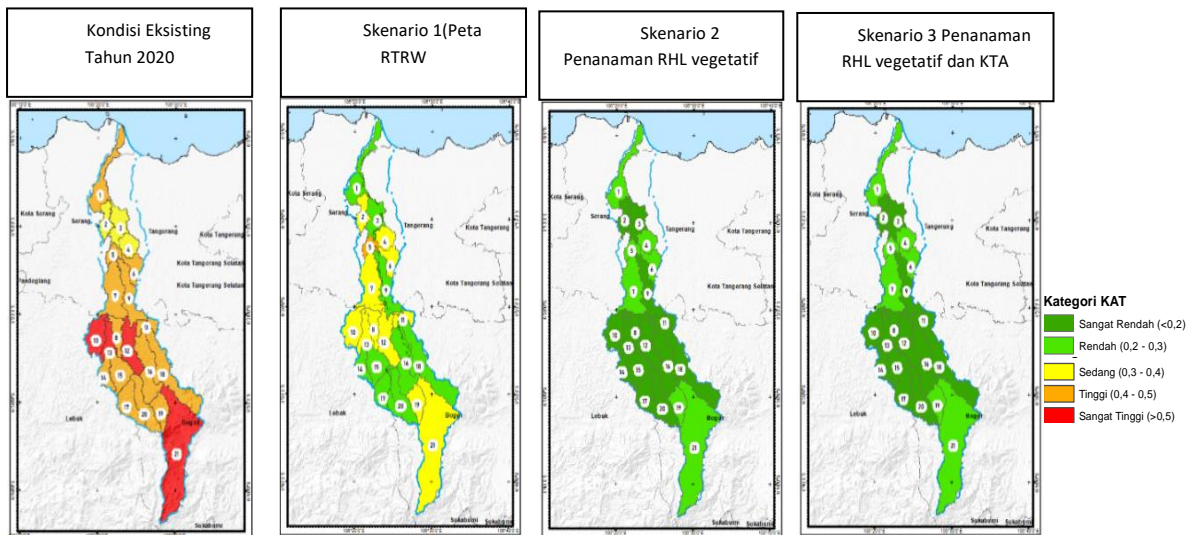
Kondisi hidrologi membaik pada skenario 3 terjadi karena penerapan penanaman RHL pada lahan kategori kritis dan sangat kritis, ditambah dengan penerapan KTA pada wilayah dengan kondisi erosi berat dan sangat berat. Praktek KTA pada lahan pertanian dapat mengurangi aliran permukaan. Penelitian Mubarak, Murtiaksono & Wahjunie (2015) menunjukkan bahwa terjadi penurunan aliran permukaan sebesar 39,30% dan kenaikan aliran lateral dan aliran dasar sebesar 18,14% dan 28,37%

Tabel (Table) 6. Nilai KAT dan KRA berdasarkan penerapan skenario pada DAS Cidurian (*Annual Flow Coefficient and Flow Regime Coefficient based on scenario implementation in Cidurian watershed*)

Skenario	CH	DRO	KAT		Qmaks	Qmin	KRA	
	mm	mm	Nilai	Kategori	m ³ /s	m ³ /s	Nilai	Kategori
Tanpa Skenario (Eksisting)	1806,4	840,96	0,47	Tinggi	454,2	1,19	381,68	Sangat Tinggi
Skenario 1	1806,4	808,11	0,45	Tinggi	185,4	3,62	51,27	Sedang
Skenario 2	1806,4	497,42	0,28	Rendah	119,4	5,10	23,41	Rendah
Skenario 3	1806,4	493,64	0,27	Rendah	114,7	5,12	22,40	Rendah

Sumber (Source): Analisis SWAT

Keterangan (Remarks): CH = Curah Hujan; DRO = *Direct Runoff*; KAT = DRO/CH; KRA = Qmaks/Qmin

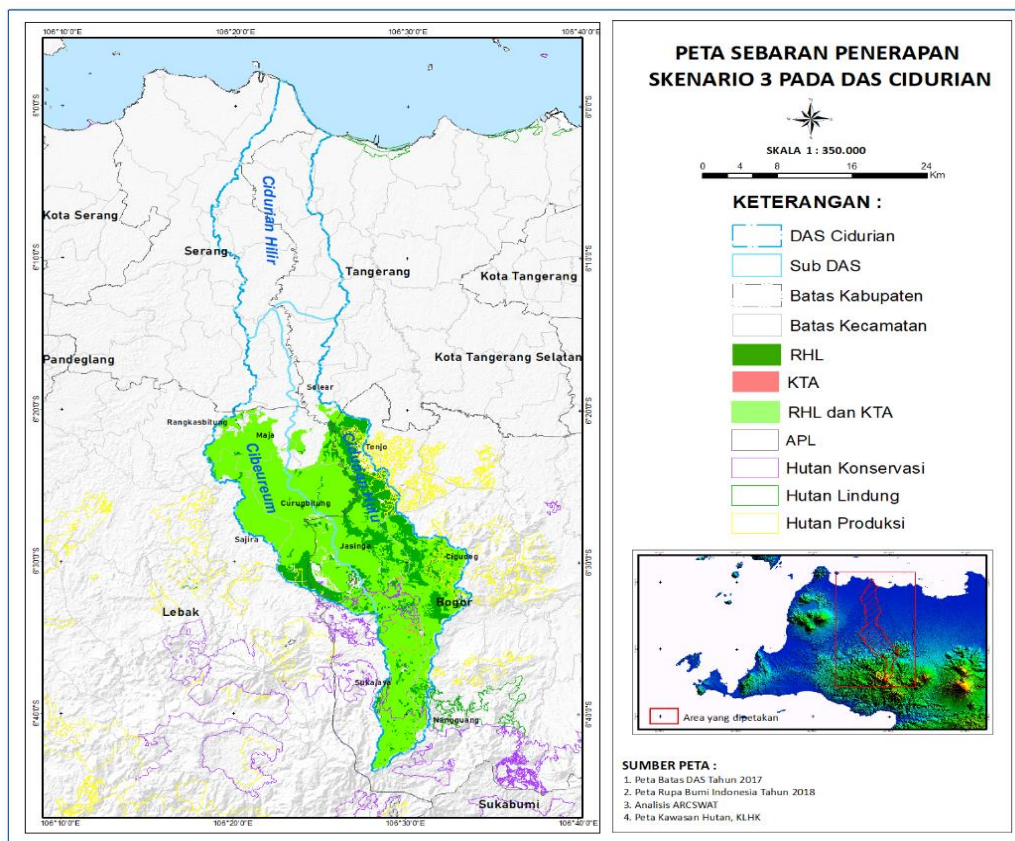


Gambar (Figure) 6. Peta sebaran KAT per sub DAS pada kondisi eksisting dan penerapan skenario (*Annual Flow Coefficient distribution map in various scenarios*)

Sumber (Source): Analisis SWAT (SWAT analysis)

dengan menerapkan simulasi fungsi hutan dan agroteknologi di DAS Way Betung. Sulaeman (2016) melakukan penelitian menggunakan model SWAT untuk simulasi pengelolaan lahan di Sub DAS Ciujung menunjukkan hasil bahwa penerapan RHL dengan teknik KTA berbasis alur dan lahan mampu mengurangi aliran permukaan dan hasil sedimen sebesar 44% dan 95%, sedangkan aliran lateral dan aliran dasar masing-masing meningkat sebesar 32% dan 80%. Hasil penelitian ini sejalan dengan hasil studi di DAS Cidurian pada skenario 3, dimana terjadi penurunan aliran permukaan dan hasil sedimen, serta terjadi peningkatan pada aliran lateral dan aliran dasar.

Hasil analisis HRU, untuk mengetahui penerapan teknik KTA dan RHL dilakukan tumpang susun lokasi penerapan skenario teknik KTA dan RHL dengan peta administrasi dan peta kawasan hutan sehingga dapat menerapkan skenario sampai dengan titik koordinat desa. Secara administrasi, penerapan skenario 3 terletak pada Provinsi Banten 16.384,41 ha (36%) dan Provinsi Jawa Barat 28.642,71 ha (64%). Penerapan skenario 3 berdasarkan status kawasan hutan adalah 37.701,15 ha (83,73%) di luar kawasan hutan dan 7.325,96 ha (16,27%) di dalam kawasan hutan. Peta sebaran penerapan kegiatan di DAS Cidurian hasil simulasi skenario 3 ditampilkan pada Gambar 7.



Gambar (Figure) 7. Peta sebaran penerapan kegiatan pada DAS Cidurian hasil simulasi skenario 3 (Map of scenario 3 implementation in Cidurian Watershed)

Sumber (Source): Analisis SWAT (SWAT analysis)

Penerapan skenario implementasi RHL dengan KTA dapat meningkatkan kualitas DAS dan memberikan respon hidrologi yang positif, namun masih perlu kajian dari aspek lainnya. Aspek yang diperhatikan dalam penerapan skenario terbaik ini, antara lain aspek ekonomi, sosial, dan juga kelembagaannya. Ketiga aspek ini perlu dikembangkan sejalan dengan pertimbangan dalam membuat kebijakan pengelolaan DAS Cidurian. Hal ini dapat menjadi penyebab ketidakberhasilan program pengelolaan lahan. Menurut Nuddin, Sinukaban, Murtalaxono & Alikodra (2007), faktor yang menyebabkan ketidakberhasilan program pengelolaan lahan kritis DAS

antara lain penerapan teknologi yang tidak tepat, pendanaan yang terbatas dan/atau peran kelembagaan yang tidak optimal.

IV. KESIMPULAN

Hasil simulasi semua skenario di DAS Cidurian menunjukkan respon hidrologi yang membaik dibandingkan dengan kondisi eksisting tahun 2020, ketiganya memberikan respon limpasan permukaan dan hasil sedimen yang menurun serta aliran lateral dan aliran dasar yang meningkat, sehingga menurunkan nilai KAT dan KRA. Skenario penerapan kombinasi penanaman RHL dan KTA menjadi skenario terbaik dengan nilai KAT 0,27 (kategori rendah) dan KRA 22,40 (kategori rendah). Kalibrasi dan validasi

dari model menunjukkan kategori memuaskan dengan nilai NSE 0,53 dan 0,50. Program RHL terbaik pada DAS dapat dirumuskan oleh pemangku kepentingan dan pembuat keputusan untuk memastikan pengelolaan sumberdaya lahan dan air yang berkelanjutan sehingga akan menjamin peningkatan kesehatan dari DAS Cidurian. Berdasarkan hasil penelitian ini, pengaplikasian ketiga skenario dapat meningkatkan kesehatan DAS Cidurian, oleh karena itu dapat dilakukan penelitian selanjutnya dengan menerapkan skenario gabungan dari RTRW, RHL vegetatif, dan KTA.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih dan penghargaan disampaikan kepada masyarakat di DAS Cidurian, Kepala Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai dan Hutan Lindung Citarum-Ciliwung, serta jajarannya yang telah membantu dalam pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Aladejana, O. O., Salami, A. T., & Adetoro, O. I. O. (2018). Hydrological responses to land degradation in the Northwest Benin Owena River Basin, Nigeria. *Journal of Environmental Management*, 225(February), 300–312. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.07.095>

Arnold, J., Moriasi, D. N., Gassman, P. W., Abbaspour, K. C., White, M. J., Srinivasan, R., Santhi, C., Harmel, R. D., Griensven, A. Van, Liew, M. W. Van, Kannan, N., & Jha, M. K. (2012). SWAT: Model use, calibration, and validation. *American Society of Agricultural and Biological Engineers Biological Systems Engineering*, 55(4), 1491–1508.

Asdak, C. (2004). *Hidrologi dan pengelolaan daerah aliran sungai*. Gadjah Mada University Press.

Balai Pengelolaan daerah Aliran Sungai (BPDASHL) Citarum Ciliwung. (2019). *Laporan penyusunan peta klasifikasi DAS*. BPDASHL Citarum Ciliwung.

Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (BPDASHL) Citarum Ciliwung. (2016). *Laporan monitoring dan evaluasi pengelolaan DAS Citarum*. BPDASHL Citarum Ciliwung.

Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (BPDASHL) Citarum Ciliwung. (2020). *Laporan banjir bandang kabupaten Lebak dan kabupaten Bogor*.

Boongaling, C. G. K., Faustino-Eslava, D. V., & Lansigan, F. P. (2018). Modeling land use change impacts on hydrology and the use of landscape metrics as tools for watershed management: The case of an ungauged catchment in the Philippines. *Land Use Policy*, 72(December 2017), 116–128. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.12.042>

Dariah, A., Haryati, U., & Budhyastoro, T. (2004). Teknologi Konservasi Tanah Mekanik dalam Konservasi Tanah pada Lahan Kering Berlereng. In *Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Badan Litbang Pertanian, Departemen Pertanian*. <https://doi.org/10.1536/ihj.21.645>

Idjudin, A. A. (2011). The Role of Land Conservation in Plantation Management. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 5(02). <https://doi.org/10.2018/jsdl.v5i02.171>

Peraturan Menteri Kehutanan Republik Indonesia No.61/Menhut-II/2014 tentang Monitoring dan Evaluasi Pengelolaan Daerah Aliran Sungai, Pub.

- L. No. No.61/Menhut-II/2014 (2014).
- Krysanova, V., Hattermann, F., Huang, S., Hesse, C., Vetter, T., Liersch, S., Koch, H., & Kundzewicz, Z. W. (2014). Modélisation des impacts des changements climatiques et d'occupation des sols avec SWIM: enseignements tirés d'applications multiples. *Hydrological Sciences Journal*, 60(4), 606–635. <https://doi.org/10.1080/02626667.2014.925560>
- Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Liew, M. W. Van, Bingner, R. L., Harmel, R. D., & Veith, T. L. (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 50(3), 885–900.
- Mubarok, Z., Murti Laksono, K., & Wahjunie, E. D. (2015). Kajian Respons Perubahan Penggunaan Lahan Terhadap Karakteristik Hidrologi DAS Betung - Lampung. *Jurnal Penelitian Kehutanan Wallacea*, 4(1), 1. <https://doi.org/10.18330/jwallacea.2015.vol4iss1pp1-10>
- Neitsch, S. ., Arnold, J. ., Kiniry, J. ., & Williams, J. . (2011). Soil & Water Assessment Tool Theoretical Documentation Version 2009. *Texas Water Resources Institute*, 1–647. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.11.063>
- Nuddin, A., Sinukaban, N., Murti Laksono, K., & Alikodra, H. (2007). Analysis of Institution System on Planning and Strategy of Critical Land on Bila Watershed Management. *Jurnal Penyuluhan*, 3(2).
- Permatasari, R., Arwin, & Natakusumah, D. K. (2017). Pengaruh Perubahan Penggunaan Lahan terhadap Rezim Hidrologi DAS (Studi Kasus : DAS Komerang). *Jurnal Teknik Sipil ITB*, 24(1), 91–98. <https://doi.org/10.5614/jts.2017.24.1.11>
- Phomcha, P., Wirojanagud, P., Vangpaisal, T., & Thaveevouthti, T. (2012). Modeling the impacts of alternative soil conservation practices for an agricultural watershed with the SWAT model. *Procedia Engineering*, 32, 1205–1213. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.02.078>
- Prasetyo, S. Y. J., Hasiholan, B., Hartomo, K. D., Paseleng, M., & Nuswantoro, B. (2013). Geographic Information System of Critical Level of Land Degradation (Critical Land) Based on Agro-ecological Zone (AEZ) in Agricultural Areas with Recombination Method of Fuzzy Logic and Scoring. *International Journal of Computer Science Issues*, 10(6), 217–221.
- Pratama, W., & Yuwono, S. B. (2016). Analisis Perubahan Penggunaan Lahan Terhadap Karakteristik Hidrologi Di Das Bulok. *Jurnal Sylva Lestari*, 4(3), 11. <https://doi.org/10.23960/jsl3411-20>
- Salim, A. G., Dharmawan, I. W. S., & Narendra, B. H. (2019). Pengaruh Perubahan Luas Tutupan Lahan Hutan Terhadap Karakteristik Hidrologi DAS Citarum Hulu. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 17(2), 333. <https://doi.org/10.14710/jil.17.2.333-340>
- Sulaeman, D. (2016). *Simulasi teknik konservasi tanah dan air metode vegetatif dan sipil teknis menggunakan model SWAT*. Institut Pertanian Bogor.
- Sunandar, A. D., Suhendang, E., Hendrayanto, Jaya, I. N. S., & Marimin.

- (2016). Dampak Perubahan Penggunaan Lahan Terhadap Respon Hidrologis Di Das Asahan. *Jurnal Penelitian Hutan Tanaman*, 13(1), 49–60.
<https://doi.org/10.20886/jpht.2016.13.1.49-60>
- Supangat, A. B. S. (2012). Karakteristik Hidrologi Berdasarkan Parameter Morfometri Das Di Kawasan Taman Nasional Meru Betiri. *Jurnal Penelitian Hutan Dan Konservasi Alam*, 9(3), 275–283.
<https://doi.org/10.20886/jphka.2012.9.3.275-283>
- Tarigan, S., Stiegler, C., Wiegand, K., Knohl, A., & Murti Laksono, K. (2020). Relative contribution of evapotranspiration and soil compaction to the fluctuation of catchment discharge: case study from a plantation landscape. *Hydrological Sciences Journal*, 65(7), 1239–1248.
<https://doi.org/10.1080/02626667.2020.1739287>
- Tarigan, S., Wiegand, K., Sunarti, & Slamet, B. (2018). Minimum forest cover required for sustainable water flow regulation of a watershed: A case study in Jambi Province, Indonesia. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(1), 581–594.
<https://doi.org/10.5194/hess-22-581-2018>
- Uniyal, B., Jha, M. K., Verma, A. K., & Anebagilu, P. K. (2020). Identification of critical areas and evaluation of best management practices using SWAT for sustainable watershed management. *Science of the Total Environment*, 744, 140737.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140737>
- Valentin, C., Agus, F., Alamban, R., Boosaner, A., Bricquet, J. P., Chaplot, V., de Guzman, T., de Rouw, A., Janeau, J. L., Orange, D., Phachomphonh, K., Do Duy Phai, Podwojewski, P., Ribolzi, O., Silvera, N., Subagyono, K., Thiébaux, J. P., Tran Duc Toan, & Vadari, T. (2008). Runoff and sediment losses from 27 upland catchments in Southeast Asia: Impact of rapid land use changes and conservation practices. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 128(4), 225–238.
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2008.06.004>
- Wangpimool, W., Pongput, K., Sukvibool, C., Sombatpanit, S., & Gassman, P. W. (2013). The effect of reforestation on stream flow in Upper Nan river basin using Soil and Water Assessment Tool (SWAT) model. *International Soil and Water Conservation Research*, 1(2), 53–63. [https://doi.org/10.1016/S2095-6339\(15\)30039-3](https://doi.org/10.1016/S2095-6339(15)30039-3)
- Welde, K., & Gebremariam, B. (2017). Effect of land use land cover dynamics on hydrological response of watershed: Case study of Tekeze Dam watershed, northern Ethiopia. *International Soil and Water Conservation Research*, 5(1), 1–16.
<https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2017.03.002>