

Analisis Dampak Perubahan Penggunaan Lahan Terhadap Hasil Air DAS Cicatih

Haki Yusdinar¹, Suria Darma Tarigan², Kukuh Murtilaksono³

¹Program Studi Teknik Sipil, Politeknik Sukabumi

Jl. Babakan Sirna No. 25, Sukabumi 43132, Indonesia

^{2,3}Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor

Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680, Indonesia

hakiyusdinar@polteksmi.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perubahan penggunaan lahan dan hasil air beserta karakteristik hidrologi berdasarkan pada koefisien aliran tahunan (KAT) dan koefisien regim aliran (KRA) pada DAS Cicatih yang terjadi pada tahun 2006 sampai 2016. Penggunaan model hidrologi HEC-HMS digunakan untuk simulasi hasil air dan debit puncak terhadap penggunaan lahan berdasarkan pada skenario yang telah disusun. Pengaruh skenario perubahan penggunaan lahan ini dianalisis untuk melihat penggunaan lahan terbaik terhadap hasil air, debit puncak, serta KAT-KRA DAS Cicatih. Penggunaan lahan tahun 2006 diperoleh berdasarkan peta citra Landsat 5 ETM⁺ melalui metode *supervised (maximum likelihood)* dengan tingkat akurasi Kappa secara keseluruhan sangat baik. Peta penggunaan lahan tahun 2016 diperoleh dengan citra Landsat 8 OLI TIRS dengan peta rujukan RBI dan Google Earth Pro serta *groundcheck* pada lokasi-lokasi tertentu. Berdasarkan tumpang susun kedua peta penggunaan lahan tersebut, penggunaan model HEC-HMS untuk hasil air dan debit puncak diperoleh pada tingkat akurasi $Z > 20\%$ dengan RMSE sebesar 13,4 m³/dt, serta nilai NSE 0,649 sebagai kalibrasi model pada penggunaan lahan tahun 2006. Konsistensi model diujikan terhadap penggunaan lahan tahun 2016 dengan nilai $Z > 20\%$, RMSE 14,1 m³/dt, serta NSE 0,579. Berdasarkan skenario yang disusun, diperoleh penurunan hasil air pada penggunaan lahan skenario ke-4, yaitu penerapan Rencana Tata Ruang Dan Wilayah Kabupaten Sukabumi (RTRW) periode 2032 sebesar 9,03%, debit puncak 22,61%, serta KRA dan KAT berturut-turut berkategori sangat rendah dan rendah.

Kata kunci: penggunaan lahan, hasil air, karakteristik hidrologi, DAS Cicatih, HEC-HMS

Abstract

This study aims to analyze the changes in land use and water yield along with hydrological characteristics based on the annual flow coefficient (KAT) and flow coefficient (KRA) in the Cicatih watershed that occurred from 2006 to 2016. The use of the HEC-HMS hydrological model was used for simulation results water and peak discharge on land use based on the scenario that has been prepared. The effect of this land use change scenario was analyzed to see the best land use for water yield, peak discharge, and KAT-KRA DAS Cicatih. Land use in 2006 was obtained based on Landsat 5 ETM⁺ imagery maps through the supervised (maximum likelihood) method with an overall accuracy of Kappa having a very good level of accuracy. The 2016 land use map was obtained with Landsat 8 OLI TIRS images with RBI reference maps and Google Earth Pro as well as groundchecks in certain locations. Based on the overlay, the use of the HEC-HMS model for water yield and peak discharge was obtained at an accuracy rate of $Z > 20\%$ with RMSE of 13.4 m³/s and NSE 0.649 as a calibration model for land use in 2006. The consistency of the model was tested on land use in 2016 with a value of $Z > 20\%$, RMSE 14.1 m³/dt, and NSE 0.579. Based on the scenario prepared, the decrease in water yield in land use in the fourth scenario, that is the application of the Sukabumi Regency Spatial Planning and Region (RTRW) for the period of 2032 which is 9.03%, peak discharge 22.61%, and KRA and KAT are categorized as very low and low.

Keywords: land use, water yield, hydrological characteristics, Cicatih watershed, HEC-HMS

I. PENDAHULUAN

Daerah Aliran Sungai (DAS) adalah kawasan yang dibatasi oleh pemisah topografi yang

menampung, menyimpan, dan mengalirkan air hujan yang jatuh di atasnya beserta sedimen dan bahan larut lainnya kedalam sungai yang akhirnya bermuara ke danau atau ke laut [1]. DAS sebagai

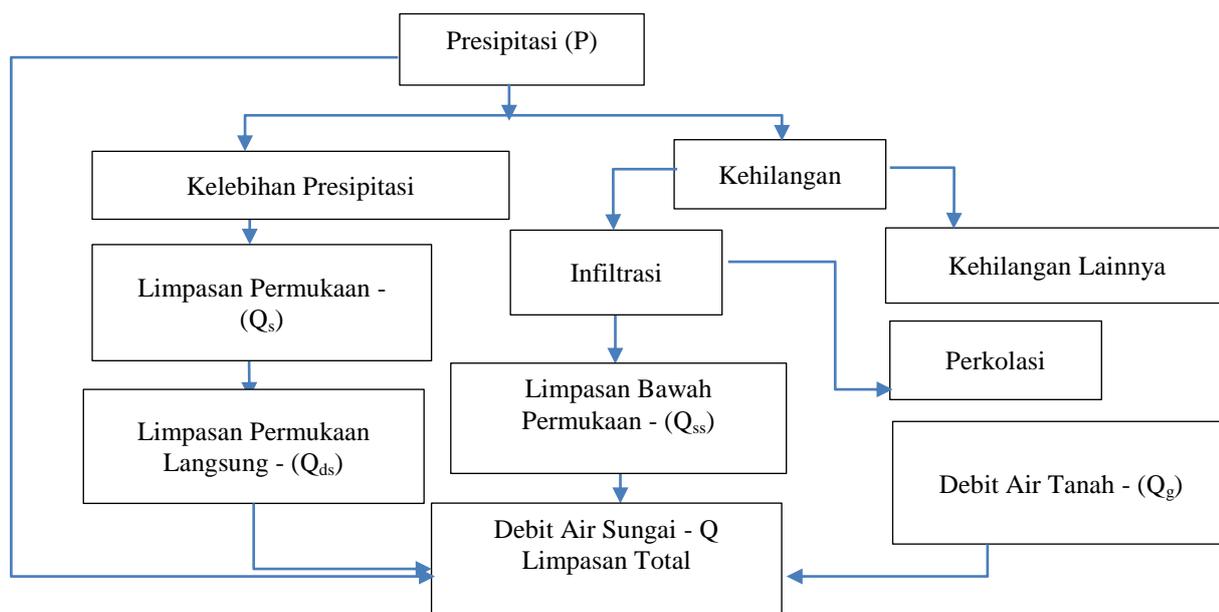
suatu sistem biofisik lahan memiliki fungsi produksi, fungsi ekologi, fungsi habitat, fungsi estetika, dan sebagainya. Fungsi produksi DAS tidak hanya berupa produk hasil budidaya lahan, akan tetapi juga berupa air, suatu sumber daya mengalir dengan berbagai manfaatnya bagi manusia dan lingkungannya. DAS memiliki keterkaitan hidrologi dimulai dari wilayah hulu hingga sampai ke wilayah pesisir laut yang masih terpengaruh oleh aktivitas hidrologi daratan. Ukuran besar dan kecilnya wilayah DAS sangat berpengaruh langsung terhadap total volume aliran yang keluar padanya [2].

Air merupakan sumberdaya vital dan satu-satunya unsur kebutuhan dasar yang sangat penting untuk menunjang berbagai keperluan manusia, dalam berbagai sektor kehidupan, dengan demikian maka diperlukan kesinambungan keberadaan air dalam kualitas dan jumlah yang memadai agar pemanfaatannya dapat berkelanjutan. Perubahan pola penggunaan lahan untuk kegiatan lain tentu memberikan manfaat sosial dan ekonomi. Namun, kondisi tersebut juga seringkali berdampak sebaliknya terhadap lingkungan. Salah satu dampak utama yang berpengaruh langsung terhadap lingkungan adalah degradasi sumber daya air dan kualitas air [3].

Penggunaan lahan (*land use*) diartikan sebagai setiap bentuk *intervensi* (campur tangan) manusia terhadap lahan dalam rangka memenuhi kebutuhan hidupnya baik materiil maupun spiritual, sedangkan perubahan tutupan lahan lebih kepada adanya perubahan vegetasi [4]. Pengertian tentang penggunaan lahan dan penutupan lahan penting untuk berbagai kegiatan perencanaan dan

pengelolaan yang berhubungan dengan permukaan bumi [5]. Terjadinya perubahan tataguna lahan dalam skala besar dan bersifat permanen dapat mempengaruhi besar kecilnya hasil air yakni aliran total yang keluar dari suatu DAS dan merupakan gabungan antara aliran lambat dan aliran cepat [6]. Guna mengetahui perubahan penggunaan lahan pada suatu wilayah, beberapa metode dapat dilakukan yakni melalui pengamatan langsung kondisi di lapang sebagai plot contoh, maupun melalui *overlay* pada beberapa peta seri.

Siklus hidrologi adalah sirkulasi air yang tidak pernah berhenti dan di dalamnya terjadi berbagai proses secara kontinyu [5]. Presipitasi dalam bentuk air hujan yang sampai di bumi sebagian diintersepsi oleh vegetasi, masuk ke dalam tanah melalui permukaan (*infiltration*), mengalir sebagai aliran bawah permukaan (*subsurface flow*), dan aliran permukaan (*surface runoff*) menjadi debit. Proses hidrologi tersebut dikenal dengan istilah transformasi hujan aliran yang merupakan faktor penting dalam menentukan besarnya debit aliran pada sebuah *outlet*. Selama perjalanannya, limpasan permukaan disimpan diatas permukaan tanah sebagai cadangan depresi (Q_s). Air yang hilang dari presipitasi (P) akibat terinfiltrasi dapat memberikan kontribusi terhadap debit saluran melalui limpasan bawah permukaan (Q_{ss}) dan atau debit air tanah (Q_g) (Gambar 1) [7]. Berdasarkan teori-teori ini, maka dapat dipahami bahwa hasil air (*water yield*) merupakan representasi dari limpasan langsung (*direct runoff*) suatu DAS yang merupakan respon DAS oleh adanya masukan berupa curah hujan [6].



Gambar 1. Tipe-tipe aliran limpasan [7]

DAS Cicatih dengan luas ±54 ribu hektar memiliki curah hujan tahunan sebesar 2.970 mm dan geologinya yang spesifik telah menghasilkan banyak sumber mata air dengan kapasitas yang cukup besar, seperti pada mata air Cibuntu (695 ls⁻¹) dan Cipanas (1000 ls⁻¹ hingga 2584 ls⁻¹). Penutupan lahan didominasi oleh perkebunan (45%), hutan (21%), dan sebagian besar sisanya berupa lahan pertanian. Debit terukur pada Stasiun Ubrug selama 1999-2005 terendah tercatat sebesar 5,25 m³s⁻¹ (24/08/2002) dan terbesar 209,05 m³s⁻¹ (8/02/2001) [8]. Namun demikian, tren debit maksimum lima tahunan dan sepuluh tahunan menunjukkan bahwa terjadi kecenderungan peningkatan debit maksimum pada tahun 1990-2008, sehingga di wilayah DAS Cicatih mempunyai potensi banjir yang cenderung meningkat [9]. Berbagai dampak perubahan alam yang terjadi di DAS Cicatih merupakan salah satu indikator telah terjadinya degradasi sumberdaya alam. Hasil penelitian [9] mengemukakan bahwa pada DAS Cicatih telah terjadi kecenderungan peningkatan debit maksimum pada tahun 1990-2008, sehingga di wilayah tersebut mempunyai potensi banjir yang cenderung meningkat. Guna mengetahui dan mendiskripsikan penyebab degradasi sumberdaya alam ini diperlukan pendekatan-pendekatan yang bersifat komprehensif, baik dari faktor biofisik, sosial ekonomi dan budaya masyarakat.

Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis perubahan penggunaan lahan dan perubahan hasil air yang terjadi di wilayah DAS Cicatih kurun waktu 2006 sampai 2016, serta menganalisis berbagai pengaruh skenario perubahan penggunaan lahan terhadap hasil air di DAS Cicatih. Kajian tentang hubungan perubahan lahan terhadap kondisi hidrologi ini merupakan salah satu upaya untuk mendapatkan arah rehabilitasi DAS yang terencana, tepat, dan dapat dipertimbangkan hasilnya.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan pada sub DAS Cimandiri yaitu DAS Cicatih dengan luas 54 214 ha, terletak antara 106°39'8"- 106°57'30" BT dan 6°42'54"-7°00'43" LS. Secara administrasi berada di wilayah Kabupaten dan sebagian Kota Sukabumi Provinsi Jawa Barat. Alat yang digunakan adalah komputer sistem operasi Windows yang dilengkapi dengan perangkat lunak sistem informasi geografis, HEC-GeoHMS, HEC-HMS 4.1, Microsoft Office 2007 dengan beberapa peralatan penunjang lainnya seperti alat tulis, kamera digital, dan *Global Positioning System* (GPS). Bahan penelitian yang dipergunakan pada penelitian ini meliputi: (1) Peta, terdiri dari peta tanah skala 1:50.000, peta RTRW

Tabel 1. Data yang digunakan pada penelitian

Jenis Data	Unit Data	Sumber
Citra Landsat ETM+ 5 2006	30 meter	Portal Earth Explorer http://earthexplorer.usgs.gov/
Citra Landsat 8 OLI TIRS 2016	30 meter	
Digital Elevation Model (DEM)	30 meter	
Curah Hujan	Jam/Harian	BPSDA Kab. Sukabumi
Debit	Jam/Harian	PUS AIR Bandung
Peta jenis tanah	Hektar	Puslittanak Cimanggu Bogor
Peta kawasan hutan negara	Hektar	Dirjen Palmologi KLHK
Peta RTRW	Hektar	BAPPEDA Kab. Sukabumi
Peta jaringan sungai	Meter	Derivasi Data DEM

Kabupaten Sukabumi periode tahun 2012 sampai 2032, dan peta citra Landsat untuk tahun tinjau 2006-2016; (2) data curah hujan beserta data debit tahun 2006-2016. Jenis data dan teknik pengumpulan data disajikan seperti pada Tabel 1.

A. Tahapan Penelitian

Prosedur penelitian ini terdiri dari empat tahapan yaitu: (1) analisis citra digital; (2) analisis perubahan penggunaan lahan; (3) analisis indikator kondisi DAS; serta (4) pemodelan hidrologi untuk prediksi hasil air dengan HEC- GeoHMS dan HEC-HMS.

B. Analisis Citra Digital

Interpretasi visual pada citra dilakukan berdasarkan 7 unsur interpretasi yaitu: rona, tekstur, pola, ukuran, bentuk, bayangan, dan situs. Interpretasi citra dilakukan melalui teknik klasifikasi terbimbing dengan metode *Maximum Likelihood Classification* (MLC). *Training area* pada masing-masing jenis penggunaan lahan ditetapkan berdasarkan SNI-7465 Tahun 2010 tentang Klasifikasi Penutupan Lahan.

Ketepatan terhadap hasil interpretasi citra dilakukan melalui: uji akurasi dan validasi. Uji akurasi dilakukan dengan melakukan *groundcheck* pada hasil interpretasi pada penggunaan lahan aktual di lapangan yaitu penggunaan lahan tahun 2016. Metode statistik yang digunakan berdasarkan pada parameter (*Index of Agreement Kappa*) besaran nilai Kappa (K) yaitu: *Kappa accuracy* dan nilai *overall accuracy* masing-masing dengan persamaan (1) dan (2).

$$K = \frac{N \cdot \sum_{i=1}^r X_{ii} - \sum_{i=1}^r (X_{i+} * X_{+i})}{N^2 \sum_{i=1}^r (X_{i+} * X_{+i})} \quad (1)$$

$$OA = \frac{[(N * X_{ii}) - (X_{i+} * X_{+i})]}{(N^2)} \quad (2)$$

Tabel 2. Matriks transisi perubahan penggunaan lahan Tahun T_0 - T_1

Penggunaan Lahan		Tahun T_1						Total Luas T_0
		H	Kc	Pm	Pt	Tg	Tt	
Tahun T_0	H							H T_0
	Kc							Kc T_0
	Pm							Pm T_0
	Pt							Pt T_0
	Tg							Tg T_0
	Tt							Tt T_0
Total Luas T_1		H T_1	Kc T_1	Pm T_1	Pt T_1	Tg T_1	Tt T_1	Luas Total

Keterangan: Kelas penggunaan lahan: H= Hutan, Pm= Pemukiman, Pt= Pertanian lahan kering, Kc= Kebun campuran, Tg= Tegalan, Tt= Tanah terbuka, = tidak berubah, = berubah

dimana X_{+i} merupakan jumlah titik interpretasi pada penggunaan lahan ke- i , X_{i+} merupakan jumlah titik referensi pada penggunaan lahan ke- i , X_{ii} merupakan jumlah titik referensi pada penggunaan lahan ke- i yang sesuai dengan titik interpretasi penggunaan lahan, dan i adalah baris atau kolom, r adalah jumlah tipe penggunaan lahan, N adalah jumlah titik sampel validasi, K adalah nilai Kappa, yaitu: kategori sangat baik, baik, memuaskan, dan kurang memuaskan [10].

C. Analisis Perubahan Penggunaan Lahan

Analisis perubahan penggunaan lahan dan simulasi dinamika penggunaan lahan, diperlukan data yang meliputi distribusi penggunaan lahan pada beberapa waktu. Perbandingan antara kedua data penggunaan lahan akan mengamati perubahan pada setiap *pixel/grid* [11]. Selanjutnya, atribut kelas dan luas masing-masing penggunaan lahan diperbandingkan menggunakan matriks transisi seperti format pada Tabel 2.

D. Analisis Indikator Kondisi DAS Berdasarkan Kriteria Hidrologi

Debit hasil pengamatan pada *outlet* stasiun Kebon Randu digunakan sebagai data analisis karakteristik DAS Cicatih yang dinyatakan sebagai koefisien regim sungai (KRS) dan koefisien aliran permukaan (C). Berdasarkan Direktorat Jenderal Rehabilitasi Lahan dan Perhutanan Sosial (RLPS), istilah lain dari koefisien regim sungai adalah Koefisien Regim Aliran (KRA) dan koefisien aliran permukaan adalah Koefisien Aliran Tahunan (KAT) [12].

KRA merupakan nisbah antara debit maksimum (Q_{max}) dan debit minimum (Q_{min}) tahunan. Klasifikasi nilai KRA ini tercantum dalam Peraturan Menteri Kehutanan Republik Indonesia No: P. 61/Menhut-II/2014 seperti pada Tabel 3 [13].

Tabel 3. Klasifikasi nilai Koefisien Regim Aliran (KRA)

Nilai KRA	Kategori
$KRA \leq 20$	Sangat Rendah (SR)
$20 < KRA \leq 50$	Rendah (R)
$50 < KRA \leq 80$	Sedang (S)
$80 < KRA \leq 110$	Tinggi (T)
$KRA > 110$	Sangat Tinggi (ST)

Sumber: Dirjen RLPS (2014)

KRA sering disebut juga sebagai parameter Q_{max}/Q_{min} . Nilai KRA yang tinggi menunjukkan kisaran nilai Q_{max} dan Q_{min} sangat besar, atau dapat dikatakan bahwa kisaran nilai limpasan pada musim penghujan (air banjir) yang terjadi besar, sedangkan pada musim kemarau aliran air yang terjadi sangat kecil atau menunjukkan kekeringan seperti yang ditunjukkan pada foto dokumentasi DAS Cicatih bagian Hulu (Gambar 2) yang diambil pada saat *grouncheck*. Gambar 2(a) foto lokasi pada bulan April 2016 saat tidak terjadi hujan. Gambar 2(b) foto lokasi bulan Desember 2017 setelah terjadi hujan deras dan terjadi longsor pada dinding saluran irigasi bagian hilir.



(a)



(b)

Gambar 2. Lokasi DAS Cicatih bagian hulu

Secara tidak langsung, kondisi ini menunjukkan bahwa daya resap lahan di DAS/Sub DAS kurang mampu menahan dan menyimpan air hujan yang jatuh dimana air limpasan langsung masuk ke sungai dan terbuang ke laut sehingga ketersediaan air saat musim kemarau sedikit. Dalam bentuk persamaannya KRA dapat ditulis seperti (3) berikut:

$$KRA = \frac{Q_{maks} (mm/det)}{Q_{min} (mm/det)} \quad (3)$$

dimana *direct runoff* (DRO) merupakan nilai total aliran tahunan dikurangi dengan nilai aliran dasar (*base flow*). Selain itu, DRO atau aliran langsung juga merupakan penjumlahan antara aliran permukaan (*surface runoff*) dengan aliran lateral (*lateral flow*).

Pada perhitungan aliran dasar (*baseflow*) digunakan debit rerata bulanan terendah dalam setahun berdasarkan data debit observasi pada bulan-bulan kering yaitu dimana tidak terjadi hujan ($P = 0$) atau jumlah curah hujan kurang dari 60 mm/bulan. Selanjutnya tebal aliran tahunan, Q (mm), dihitung dengan cara seperti (4) berikut:

$$Q = \frac{\text{debit} \left(\frac{m^3}{det} \right) \times \text{jumlah hari} \times 86400 (det)}{\text{luas DAS}} \times 1000 \quad (4)$$

dimana ini dilakukan sebagai perubahan dari debit observasi menjadi tebal aliran. Selanjutnya untuk mendapatkan DRO yaitu berdasarkan tebal aliran tahunan, Q dikurangi aliran dasar BF (mm) atau dalam bentuk persamaannya dapat ditulis seperti (5) berikut:

$$DRO = Q - BF \quad (5)$$

KAT merupakan bilangan yang menunjukkan perbandingan (nisbah) antara besarnya limpasan permukaan (DRO, mm) terhadap besar curah hujan penyebabnya (mm). Nilai KAT berkisar antara 0-1 ($0 < KAT < 1$) untuk mengetahui persentase curah hujan yang menjadi aliran (*runoff*) pada suatu DAS. Adapaun klasifikasi besaran nilai KAT dibagi menjadi 5 kelas seperti disajikan pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Klasifikasi nilai Koefisien Aliran Tahunan (KAT)

Nilai KAT	Kategori
$KAT \leq 0,2$	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)

Sumber: Dirjen RLPS (2014)

E. Pemodelan Hidrologi untuk Prediksi Hasil Air dengan HEC-HMS

Pada penelitian ini, analisis karakteristik hidrologi DAS Cicatih selain dilakukan perhitungan berdasarkan debit dan curah hujan observasi juga dilakukan terhadap debit dan curah hujan berdasarkan hasil model. Tahapan pemodelan hasil air dilakukan menggunakan model hidrologi HEC-HMS (*Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System*) versi 4.1. HEC-HMS merupakan model dalam bidang hidrologi yang dikembangkan oleh *Army Corps of Engineers* [14]. HEC-HMS dalam penelitian ini adalah HEC-HMS versi 4.1. HEC-HMS menyediakan paket pemodelan atau metode yang dapat digunakan untuk menghasilkan hidrograf aliran suatu DAS [15]. Masukan utama pada pemodelan HEC-HMS adalah sebagai berikut [16]:

1. Jaringan sungai DAS beserta ukurannya
2. Metode *loss*, adapun metode yang dapat digunakan meliputi: *initial-constant*, *deficit-constant*, *exponential green-ampt*, *smith parlange*, pengukuran kelembaban tanah (*soil moisture*), dan kurva SCS (*SCS curve-number*)
3. Metode *transform*, yaitu metode yang mengubah kelebihan curah hujan menjadi limpasan. Metode yang digunakan antara lain: *SCS*, *Clark* atau *Snyder unit hydrographs*, *Kinematic wave*, *Mod Clark* dan penggunaan unit hydrograph spesifik (*user specified unit hydrograph*)
4. Metode *routing*. Metode yang digunakan antara lain: *Muskingum*, *Kinematic wave*, *Lag*, *Modified plus*, *Muskingum Cunge*, dan *Straddle stagger*.
5. Data meteorologi yaitu data curah hujan dan rentang waktu pelaksanaan simulasi.

Keluaran dari model ini berupa hidrograf dan data debit hasil simulasi (*flow volume*). Model ini dapat digunakan untuk menghitung volume *runoff*, *direct run-off*, *baseflow* dan *channel flow* USACE-HEC [17]. Model ini menampilkan *interface* secara grafis sehingga lebih mudah digunakan dalam deretminasi penentuan banjir. HEC-HMS telah banyak digunakan dalam berbagai masalah hidrologi terkait dengan pasokan air pada DAS yang berukuran besar, mempelajari proses hidrologi pada banjir perkotaan dan proses limpasan alami pada DAS [18].

HEC-GeoHMS (*Hydrologic Engineering Center-Geospatial Hydrologic Modeling Extension*) merupakan seperangkat *tools* yang terdapat pada Sistem Informasi Geografis (SIG). Pengolahan data geospasial dan membuat *file input*, melakukan manajemen data dan *graphical user interface* (GUI) pada model HEC-HMS. HEC-GeoHMS mampu menerjemahkan informasi spasial menjadi file

untuk model HEC-HMS, yaitu memformat dan mengolah data serta transformasi koordinat. Hasil akhir dari pengolahan data SIG pada Hec-GeoHMS adalah database spasial hidrologi yang terdiri dari data DEM (*Digital Elevation Model*), jenis tanah, penggunaan lahan, curah hujan, dan atribut lainnya sebagai awal dalam pemodelan hidrologi pada HEC-HMS [14].

Penentuan hujan-debit untuk mengestimasi debit dilakukan sebagai berikut:

1) *Penyusunan Model Basin*: Proses penyusunan model basin dibagi menjadi beberapa proses utama, yaitu: (a) deliniasi batas DAS dan komponen DAS; (b) penyusunan parameter metode *loss*; (c) penyusunan parameter metode *transform*; (d) penyusunan parameter metode aliran dasar (*baseflow*); dan (d) penyusunan parameter metode penelusuran aliran (*routing*).

2) *Penyusunan Model Meteorologi*: Model meteorologi terkait dengan metode presipitasi, metode *weight gage* digunakan dengan menetapkan stasiun klimatologi pada masing-masing sub basin.

3) *Kalibrasi dan Validasi Model*: Kalibrasi model bertujuan untuk memperoleh nilai optimum pada parameter hujan-aliran dengan menggunakan model HEC-HMS sehingga keluaran yang berupa hidrograf hasil hitungan model mendekati hidrograf terukur. Proses kalibrasi diperlukan untuk mengetahui nilai masing-masing parameter yang digunakan sebagai dasar melakukan simulasi. Proses selanjutnya adalah membandingkan data hasil simulasi dan data observasi pada periode yang berbeda dari proses kalibrasi yakni validasi yang bertujuan untuk menguji konsistensi hasil dari suatu model pada periode yang lain.

Nilai parameter yang digunakan dalam proses validasi sama dengan nilai parameter pada proses kalibrasi. Metode statistik yang digunakan pada proses kalibrasi maupun validasi model dilakukan berdasarkan pada persamaan (6), (7), dan (8). Pada HEC-HMS terdapat beberapa metode perhitungan indeks kesesuaian salah satunya yakni *sum of absolute errors* USACE-HEC [17], yang berdasarkan pada hasil pengoptimalan parameter-parameter masukan model yang dilakukan secara coba-coba (*optimization trials*) sehingga membentuk hidrograf model dan disandingkan dengan hidrograf terukur yang dinyatakan sebagai *objective function*.

Indeks kesesuaian menggambarkan tingkat kesesuaian model secara keseluruhan yang dihitung dari residual kuadrat dari model yang diprediksi dibandingkan dengan data sebenarnya yang dinyatakan dalam *objective function* [19]. Hasil *objective function* ini selanjutnya dapat dilihat pada tampilan *objective function summary* yang terdapat

pada layar HEC-HMS pada *toolbar result* setelah kita melakukan *trial* pada masing-masing parameter. Tujuan dari penggunaan *objective function* ini adalah untuk menentukan besaran parameter dengan cara meminimalkan nilai *objective function* hasil iterasi model, sehingga mendekati hidrograf terukur, yang dihitung berdasarkan persamaan (6) berikut:

$$Z = \sum_{i=1}^{NQ} [qo(i) - qs(i)] \quad (6)$$

dimana Z adalah *objective function*, NQ adalah jumlah ordinat hidrograf hasil simulasi model, $qo(i)$ adalah debit terukur, dan $qs(i)$ adalah debit hasil simulasi model. Untuk hasil yang baik nilai *objection fungtion* diharapkan tidak lebih dari 20% ($Z < 20\%$).

Proses iterasi pada model HEC-HMS (*optimization trials*) tidak terlepas dari tingkat kesalahan, untuk mengetahui seberapa besar selisih pada tiap iterasi telah diperhitungkan terhadap besaran nilai kesalahan berdasarkan pada metode RMSE (*Root Mean Square Errors*). RMSE ini merupakan pasilitas standar yang secara otomatis disajikan pada setiap tampilan hasil setelah *compute (running model)*. Metode ini terdapat pada layar *Optimization Manager* yang dilakukan pada saat menentukan tipe *objective function* yang dipilih yakni *Peak weighted RMS Error*, yang diformulasikan dengan persamaan berikut:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{t=h}^t (Q_{obs} - Q_{sim})^2} \quad (7)$$

dimana, Q_{obs} merupakan debit hasil pengamatan dilapangan (m^3/dt) dan Q_{sim} adalah debit hasil pemodelan (m^3/dt).

Metode kalibrasi dan validasi juga dilakukan berdasarkan pada besaran nilai koefisien efisiensi uji Nash dan Sutcliffe (*Nash-Sutcliffe Efficiency-NSE*). Koefisien efisiensi menekankan rasio antara besarnya volume aliran permukaan berdasarkan hasil pengukuran langsung /observasi (y_i^{obs}) dan volume aliran permukaan hasil simulasi model (y_i^{sim}) [20]. Secara matematis, koefisien efisiensi dihitung berdasarkan pada persamaan (8) berikut:

$$NSE = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (y_i^{obs} - y_i^{sim})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i^{obs} - \bar{y}^{obs})^2} \right] \quad (8)$$

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, dan n merupakan jumlah observasi. Moriasi *et al* mengelompokkan nilai efisiensi model NSE menjadi 4 kategori yaitu:

kategori sangat baik ($0,75 < NSE < 1,00$), baik ($0,65 < NSE < 0,75$), memuaskan ($0,50 < NSE < 0,65$), dan kurang memuaskan ($NSE < 0,50$) [10].

F. Skenario Perubahan Penggunaan Lahan terhadap Hasil Air

Simulasi penggunaan lahan pada skenario dilakukan untuk melihat kondisi terbaik terhadap hasil air pada respons hidrologi yang dianalisis sebelumnya yaitu untuk koefisien regim aliran dan koefisien aliran tahunan (2016). Selanjutnya, dibuat skenario sebagai berikut:

1. Penerapan penggunaan lahan saat ini (2016) berdasarkan model.
2. Perubahan penggunaan lahan dengan peningkatan luas hutan yang disesuaikan dengan peta kawasan hutan negara (minimal 30% dari luas DAS).
3. Merubah penggunaan lahan lain yang menjadi kawasan lindung dengan mengacu pada kriteria evaluasi kawasan lindung (Keppres No. 32 Tahun 1990 tentang pengelolaan kawasan lindung) dengan persyaratan kawasan lindung sebagai berikut:
 - Memiliki kemiringan lebih dari 45%
 - Memiliki ketinggian >2000 mdpl
 - Berjarak 100 m dari kiri kanan sempadan sungai
 - Berjarak 200 m dari mata air
4. Perubahan pada Penggunaan Lahan Perkebunan menjadi Perkebunan Kelapa Sawit.
5. Menyesuaikan perubahan penggunaan lahan dengan RTRW Kabupaten Sukabumi.

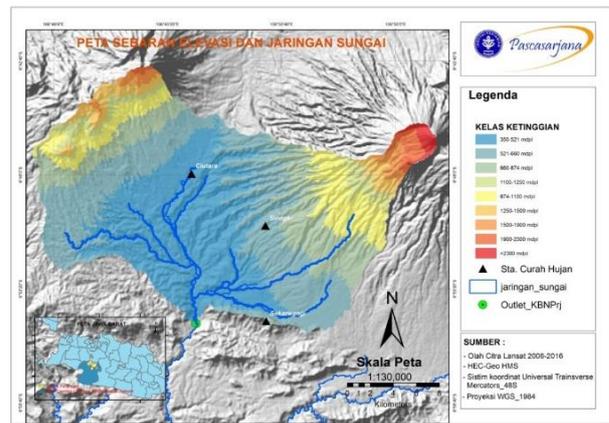
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Keadaan Umum Wilayah Penelitian

Peta sebaran kelas ketinggian DAS Cicatih ditunjukkan pada Gambar 3. Berdasarkan deliniasi pada outlet DAS pada Kebon Randu maka diperoleh luas area 46.006,4 hektar, dicirikan dengan bentuk sungai yang memanjang dan menyempit, berarus deras, serta merupakan daerah pegunungan dengan elevasi antara 350 mdpl sampai 2.300 mdpl seperti ditunjukkan Tabel 5.

B. Iklim dan Curah Hujan

Terdapat 3 kriteria dalam menentukan klasifikasi iklim berdasarkan Schmidt-Ferguson yaitu: 1) tipe bulan basah, curah hujan bulanan > 100 mm; 2) tipe bulan lembab, curah hujan bulanan 60-100 mm; dan 3) tipe bulan kering, curah hujan bulanan < 60 mm. Klasifikasi ini didasarkan pada tingkat kebasahan suatu wilayah dari Schmidt-Ferguson. Klasifikasi iklim DAS Cicatih menurut Schmidt-Ferguson termasuk Kriteria Tipe A (sangat basah).



Gambar 3. Peta sebaran kelas ketinggian DAS Cicatih

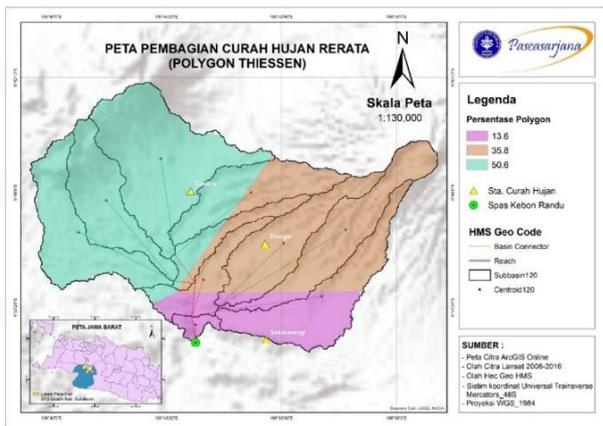
Tabel 5. Kelas ketinggian DAS Cicatih

No.	Elevasi (mdpl)	Luas	
		Ha	%
1	1900-2300	650,23	1,4
2	1500-1900	888,14	1,9
3	1250-1500	1624,22	3,5
4	1100-1250	1751,20	3,8
5	874-1100	4705,42	10,2
6	660-874	6786,20	14,8
7	521-660	13666,32	29,7
8	350-521	15527,43	33,8
9	>2300	407,20	0,9
Total		46.006,36	100

DAS Cicatih berdasarkan klasifikasi iklim menurut Koppen termasuk kedalam iklim Af, yaitu iklim yang hujan tropis lembab tanpa bulan kering. Klasifikasi iklim menurut Oldeman, wilayah ini termasuk ke dalam Zona A yaitu dimana bulan basah (bulan dengan curah hujan > 200 mm) lebih dari 9 kali berturut-turut.

Presipitasi atau curah hujan yang jatuh ke bumi merupakan penggerak dari model hidrologi untuk dapat menghasilkan luaran (*output*). Data hujan yang digunakan didapat dari beberapa stasiun curah hujan yang tersebar di wilayah DAS Cicatih dan tiga diantaranya digunakan pada penelitian ini, yaitu: Sekarwangi, Ciutara dan Sinagar dengan jumlah data harian untuk tahun tinjau 2006 dan 2016 yang dianggap cukup mewakili. Hasil analisis menggunakan sistim informasi geografis dengan metode *Polygon Thiessen* tampak pada Gambar 4, diperoleh luasan terbobot pada masing-masing stasiun curah hujan seperti pada Tabel 6.

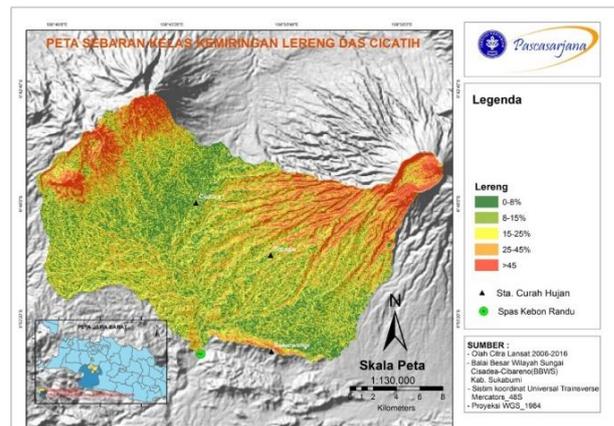
DAS Cicatih memiliki curah hujan tahunan yang bervariasi selama 10 tahun pada periode 2006 hingga 2016 dimana curah hujan tertinggi terjadi pada tahun 2010 yakni sebesar 4.153,00 mm dan terendah sebesar 1.597,46 mm pada tahun 2006.



Gambar 4. Peta wilayah hujan Polygon Thiessen DAS Cicatih

Tabel 6. Luasan pengaruh Polygon Thiessen DAS Cicatih

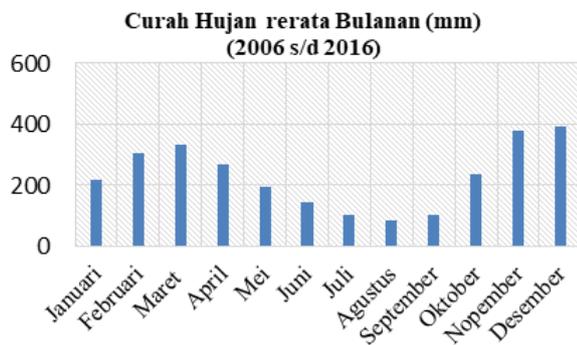
No.	Nama Stasiun Penakar Curah Hujan	Luas (Ha)	Persentase (%)
1	Sekarwangi	6.288,05	13,60
2	Sinagar	16.474,45	35,80
3	Ciutara	23.243,85	50,60
Total		46.006,36	100,00



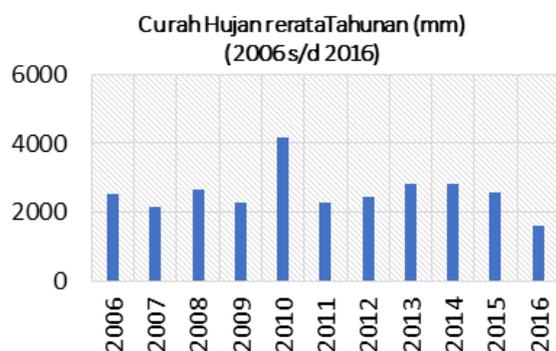
Gambar 6. Peta sebaran kelas kemiringan lereng DAS Cicatih

Tabel 7. Kemiringan lereng DAS Cicatih

No.	Lereng (%)	Luas (Ha)	Persentase
1	0-8	7.649,10	16,63
2	8-15	11.882,56	25,83
3	16-25	12.082,30	26,26
4	26-45	9.413,00	20,46
5	>45	4.979,40	10,82
Total		46.006,36	100



(a)



(b)

Gambar 5. Curah hujan rerata bulanan (a) dan rerata tahunan (b) DAS Cicatih dari tahun

Sebagaimana Gambar 5, curah hujan rata-rata tahunan diperoleh sebesar 2.529,95 mm. Curah hujan rata-rata bulanan periode 2006-2016 memperlihatkan paling tinggi terjadi pada bulan Desember sebesar 392,58 mm dan paling rendah terjadi pada bulan Agustus sebesar 82,81 mm.

C. Kemiringan Lereng

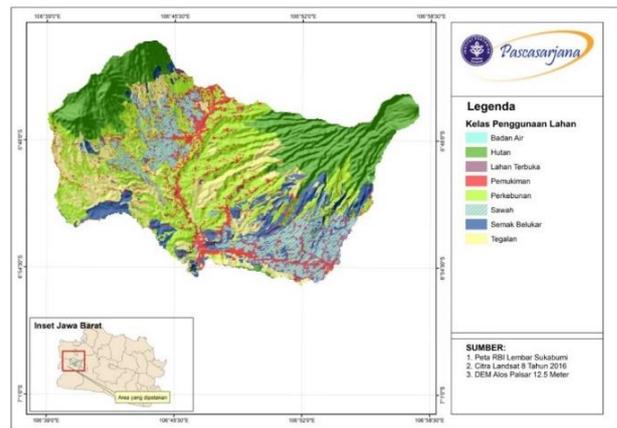
Kelas kemiringan lereng DAS Cicatih dilakukan berdasarkan Peraturan Direktur Jenderal Bina Pengelolaan Daerah Aliran Sungai dan Perhutanan Sosial Nomor P.4/V-Set/2013 tentang petunjuk teknis penyusunan data spasial lahan kritis yang terbagi ke dalam 5 kategori yaitu 0-8%, 9-15%, 16-25%, 26-40% dan >40% (Gambar 6). Kelas kemiringan lereng DAS Cicatih didominasi oleh kelas agak curam (16-25%) dengan luas 12.082,30 hektar atau 26,26% dari total luas DAS Cicatih seperti ditunjukkan Tabel 7.

D. Jenis Tanah

Peta jenis tanah DAS Cicatih diperoleh dari PUSLITANAK yaitu peta jenis tanah tahun 1992 dengan skala 1:50.000. Terdapat 6 jenis tanah seperti yang tampak pada Gambar 7 yang didominasi oleh Tanah Asosiasi Dystropepts; Eutropepts; TropudalFs, 21.507,54 Ha (46,75%) yang bertekstur halus, dengan drainase baik, disusul oleh Tanah Asosiasi DystrandepTs; Humitropepts; HydrandepTs, 10.032,64 (21,81%) dengan tekstur sedang dan kasar, drainase baik dan cepat, serta Dystropepts; TropudulTs; Troporthents sebesar 9.624,54 ha (20,92%) (Tabel 8).

Tabel 8. Luasan jenis tanah DAS Cicatih

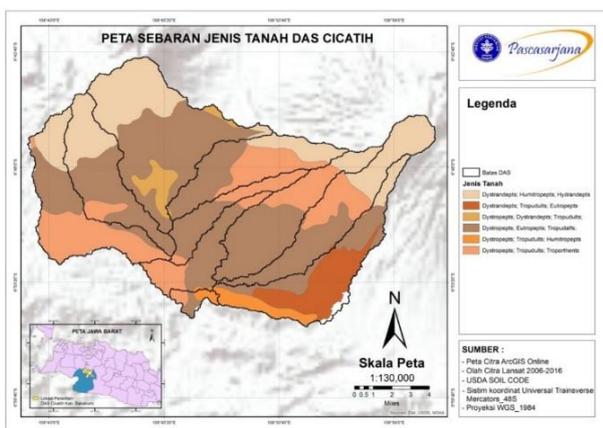
Jenis Tanah	Luas (Hektar)	Persentase (%)
Dystrandepts; Humitropepts; Hydrandepts	10.032,64	21,81
Dystrandepts; Tropudults; Eutropepts	2.635,94	5,73
Dystropepts; Dystrandepts; Tropudults;	1.056,44	2,30
Dystropepts; Eutropepts; Tropudults;	21.507,54	46,75
Dystropepts; Tropudults; Humitropepts	1.149,24	2,50
Dystropepts; Tropudults; Troprothents	9.624,54	20,92
Total	46.006,36	100,00



Gambar 9. Peta penggunaan lahan DAS Cicatih tahun 2016

Klasifikasi citra penutupan lahan tahun 2016 menghasilkan nilai *overall accuracy* sebesar 95% dan nilai *Kappa accuracy* sebesar 93%. Berdasarkan nilai ini, maka hasil klasifikasi citra yang dilakukan sudah tergolong akurat.

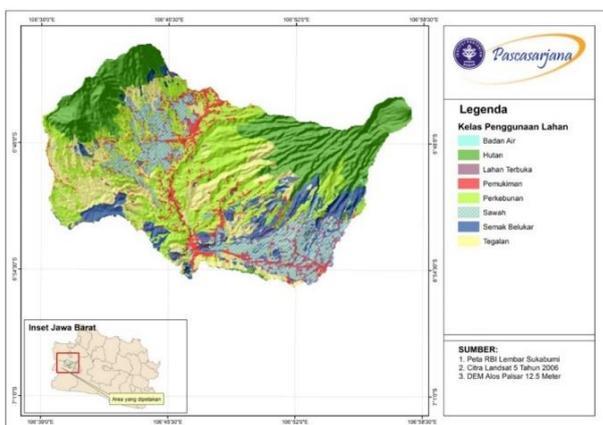
Berdasarkan pada hasil analisis pada Tabel 9, perubahan penggunaan lahan terbesar terjadi pada penggunaan lahan pemukiman. Luas pemukiman pada tahun 2016 meningkat 1,45% atau 679,10 ha dari luas pemukiman pada tahun 2006. Penggunaan lahan hutan menurun sebesar 0,45% atau seluas 206,02 ha. Penurunan penggunaan lahan terbesar terjadi pada penggunaan lahan semak belukar, yakni sebesar 0,55% atau seluas 254,70 ha. Pengurangan areal semak belukar yang terjadi di wilayah DAS Cicatih terjadi akibat pembangunan pabrik, pencetakan sawah, serta pada perkebunan. Berdasarkan matriks konversi pada Tabel 10, dapat dilihat beberapa kemungkinan antara lain perkembangan yang pesat pada wilayah tersebut yang menyebabkan meningkatnya luas penutupan lahan pada kriteria pemukiman diantaranya pembangunan pabrik-pabrik kawasan berikat dan industri skala besar. Penambahan selanjutnya terjadi pada perkebunan dengan luas sebesar 152,61 ha atau sekitar 0,33%, penambahan luas perkebunan ini terjadi dari perambahan luas hutan, perubahan selanjutnya terjadi juga pada tegalan seluas 254,70 ha atau setara dengan 0,55% dari luas DAS Cicatih hingga menjadi 13,33%. Perubahan terjadi juga pada pengurangan sawah seluas 133,61 ha yang setara dengan 0,29%. Penggunaan lahan pada DAS Cicatih cenderung berubah pada kondisi semakin terbukanya lahan atau semakin berkurangnya daerah resapan air hujan. Sesuai [6], bahwa perubahan pada penutupan lahan akan mempengaruhi keseluruhan sistem ekologi termasuk hidrologi pada wilayah DAS. Dalam skala besar, dampaknya akan terlihat pada fluktuasi air sungai yang meningkat di musim penghujan dan akan sangat rendah pada musim kemarau.



Gambar 7. Peta sebaran jenis tanah DAS Cicatih

E. Perubahan Penggunaan Lahan

Perubahan penggunaan lahan Sub DAS Cicatih diperoleh dengan membandingkan dua peta penggunaan lahan tahun 2006 (Gambar 8) dan tahun 2016 (Gambar 9). Hasil perubahan penggunaan lahan dan matriks transisi lahan sebagaimana disajikan pada Tabel 9 dan Tabel 10.



Gambar 8.2 Peta penggunaan lahan DAS Cicatih tahun 2006

Tabel 9. Luas perubahan penggunaan lahan DAS Cicitih tahun 2006 dan tahun 2016

Kelas Penggunaan Lahan	Tahun 2006		Tahun 2016		Perubahan	
	Ha	%	Ha	%	Ha	%
Badan Air	210,1	0,46	210,01	0,46	0	0,00
Hutan	11.633,1	25,29	11.426,9	24,84	-206,2	-0,45
Lahan Terbuka	328,2	0,71	333,1	0,72	4,9	0,01
Pemukiman	4.049,6	8,80	4.728,7	10,28	679,1	1,48
Perkebunan	13.688,0	29,75	13.840,6	30,08	152,61	0,33
Sawah	5.506,8	11,97	5.373,2	11,68	-133,61	-0,29
Semak Belukar	4.219,1	9,17	3.977,0	8,64	-242,1	-0,53
Tegalan	6.371,5	13,85	6.116,8	13,30	-254,7	-0,55
Total	46.006,40	100,00	46.006,40	100,00		100,00

Tabel 10. Matriks transisi perubahan penggunaan lahan DAS Cicitih tahun 2006 dan tahun 2016

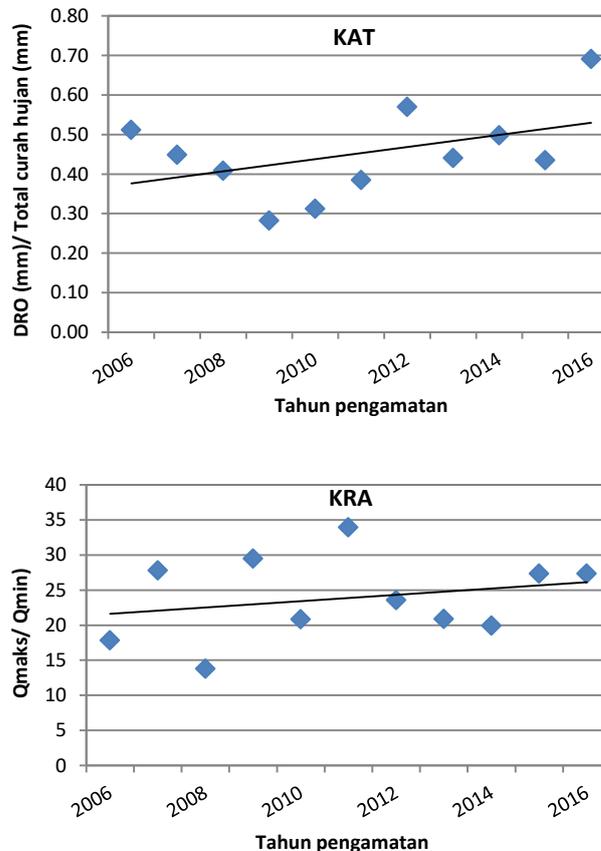
Tahun 2016	Tahun 2006								Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Badan Air (1)	209,87	-	-	0,2	-	-	-	-	210,1
Hutan (2)	-	11.426,9	-	-	-	-	-	-	11.426,9
Lahan Terbuka (3)	-	9,7	321,9	-	1,5	-	-	-	333,1
Pemukiman (4)	0,2	17,8	6,3	4.049,4	292,4	147,3	15,5	199,8	4.728,7
Perkebunan (5)	-	158,9	-	-	13.394,13	1,51	275,1	11	13.840,6
Sawah (6)	-	-	-	-	-	5.357,99	15,2	-	5.373,2
Semak Belukar (7)	-	19,8	-	-	-	-	3.913,3	43,9	3.977,0
Tegalan (8)	-	-	-	-	-	-	-	6.116,8	6.116,8
Total	210,1	11.633,1	328,2	4.049,6	13.688,0	5.506,8	4.219,1	6.371,5	46.006,4

Untuk mengetahui indikasi terganggu atau tidaknya suatu DAS, selanjutnya dilakukan analisis terhadap kriteria hidrologi (KRA dan KRS) berdasarkan pada debit dan curah hujan DAS Cicitih periode tahun 2006 hingga 2016 (10 tahun).

F. Karakteristik Hidrologi

Berdasarkan rerata data curah hujan dan debit tahunan yang tercatat pada tahun 2006 hingga 2016, diperoleh besaran nilai KAT dan KRA pada DAS Cicitih sebagaimana disajikan pada Tabel 11. Hal mana ini menunjukkan bahwa pada DAS Cicitih telah terjadi perubahan karakteristik hidrologi yang diperlihatkan dengan perubahan besaran nilai yang terjadi pada koefisien aliran tahunan juga koefisien regim alirannya.

Besaran nilai KRA dan KAT pada DAS Cicitih secara umum menunjukkan pola peningkatan selama rentang waktu 2006 sampai 2016 (Gambar 10). Curah hujan yang bervariasi dari tahun 2006 hingga 2016 diduga menjadi pemicu tinggi rendahnya debit sungai yang berada pada DAS Cicitih selain tutupan lahan, jaringan sungai, tipe tanah ataupun topografi.



Gambar 10. KAT dan KRA DAS Cicitih tahun 2006 hingga 2016

Tabel 11. Nilai KAT dan KRA DAS Cicatih

Tahun	BK	Q		CH	Q	BF	DRO	KAT	Kls	Qmaks	Qmin	KRA	Kls
		Base Flow	Rata-rata										
		(m3/dt)	(m3/dt)										
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
2006	Sept	8.49	27.59	2,527	1,865	574	1,291	0.50	T	124.77	7.00	17.82	SR
2007	Sept	8.06	22.31	2,148	1,508	545	963	0.45	T	194.50	7.00	27.79	R
2008	Juli	11.44	27.50	2,661	1,859	773	1,086	0.41	T	113.04	8.20	13.79	SR
2009	Agust	14.34	23.87	2,283	1,614	969	644	0.28	R	235.74	8.00	29.47	R
2010	April	24.96	44.11	4,153	2,982	1,688	1,295	0.31	S	125.03	6.00	20.84	R
2011	Agust	12.20	25.17	2,281	1,701	825	877	0.38	S	339.15	10.00	33.92	R
2012	Agust	8.93	29.49	2,441	1,994	604	1,390	0.57	ST	164.82	7.00	23.55	R
2013	Sept	14.52	32.78	2,802	2,216	982	1,235	0.44	T	199.11	9.55	20.85	R
2014	Sept	14.23	35.11	2,838	2,374	962	1,411	0.50	T	199.11	10.00	19.91	SR
2015	Juli	18.59	35.11	2,571	2,374	1,257	1,117	0.43	T	152.22	5.56	27.37	R
2016	Juli	10.45	26.78	1,597	1,811	707	1,104	0.69	ST	163.85	6.00	27.31	R

Keterangan:

- | | | |
|--|---|--|
| (1) Tahun tinjau | (6) Perubahan dari kolom-4 (m3/det) menjadi tebal aliran (mm) | (11) Debit maksimum pada tahun tinjau |
| (2) Bulan Kering (curah hujan kurang dari 60 mm/bln; Schmidt-Ferguson) | (7) Perubahan dari kolom-3 (m3/det) menjadi tebal aliran (mm) | (12) Debit minimum pada tahun tinjau |
| (3) Debit <i>base flow</i> | (8) Kolom (6) - kolom (7) | (13) Kolom (11) / kolom (12) |
| (4) Debit rata-rata tahunan | (9) Kolom (5) / kolom (8) | (14) Klasifikasi karakteristik DAS berdasarkan KRA |
| (5) Jumlah curah hujan tahunan | (10) Klasifikasi karakteristik DAS berdasarkan KAT | |

Klasifikasi nilai KAT dengan katagori tinggi (T) hingga sangat tinggi (ST) rata-rata memiliki DRO yang besar dibanding dengan KAT yang memiliki katagori sedang (S) hingga rendah (R), terkecuali tahun 2010 yang dipicu oleh besarnya curah hujan pada tahun tersebut yakni sebesar 4.153 mm/tahun. Tingginya nilai DRO menunjukkan bahwa curah hujan sebagian besar menjadi limpasan sebesar Q (mm) dibandingkan dengan aliran yang terserap tanah dan terperkolasikan menjadi sumber aliran bawah tanah sebagai *baseflow* pada kolom (7) Tabel 13. Dugaan awal tidak adanya tahanan aliran berupa vegetasi ataupun tutupan lahan dengan kata lain telah terjadi perubahan penggunaan lahan, yang mengakibatkan tanah padat sehingga bersifat *impervious*. Sesuai [6], pengaruh vegetasi dan cara bercocok tanam dapat memperlambat jalannya limpasan dan memperbesar jumlah air yang tertahan diatas permukaan tanah (*surface detention*), dan dengan demikian dapat menurunkan laju aliran permukaan.

KRA yang menggambarkan rasio antara Q_{maks} dan Q_{min} pada DAS Cicatih berdasarkan pada Tabel 11 dan Gambar 9 masih berada pada besaran nilai koefisien yang tidak lebih besar dari 50 ($KRA < 50$) dengan katagori sangat rendah (SR) hingga menjadi rendah (R). Namun demikian besaran nilai tersebut secara perlahan telah menunjukkan kenaikan dari nilai terendah 13,79 (SR) pada tahun 2014 hingga 27,31 (R) pada tahun 2016.

Perbedaan yang tampak seperti kontradiksi pada kedua karakteristik hidrologi DAS Cicatih ini (KAT dan KRA) mengingat analisis yang dilakukan berdasarkan pada faktor iklim yaitu curah hujan dan debit observasi. Pengaruh lain yang berhubungan dengan karakteristik DAS seperti bentuk dan ukuran DAS (morfometri), topografi, geologi, dan tataguna lahan (jenis dan kerapatan vegetasi) merupakan faktor-faktor yang dapat membedakan besaran nilai dari karakteristik hidrologi tersebut dilapangan. Indarto [2], menyatakan bahwa ukuran besar dan kecilnya wilayah DAS sangat berpengaruh langsung terhadap total volume aliran yang keluar padanya.

Dalam hal morfometri misalnya, DAS Cicatih memiliki bentuk DAS yang melebar, dimana ini sangat mempercepat laju konsentrasi aliran menuju *outlet* mengingat jarak tempuh aliran lebih pendek dibanding dengan bentuk DAS yang memanjang dan menyempit. Kemiringan lereng, kelas kemiringan lereng DAS Cicatih sebesar 26,26% wilayahnya berada pada kelas agak curam (16%-25%) yakni sebesar 12.082,30 hektar dan hanya 16,63% yang berada pada kemiringan 0 sampai 8%. Asdak [6] menyebutkan bahwa kemiringan lereng suatu DAS serta bentuk DAS sangat mempengaruhi perilaku hidrograf dalam hal *timing*.

Kondisi wilayah DAS Cicatih dengan bentuk serta kemiringan wilayahnya telah memberikan andil terhadap perbedaan yang terjadi pada karakteristik hidrologi DAS yang berpengaruh pada besarnya debit sungai disaat musim penghujan dan minimum disaat kemarau. Hal ini menunjukkan pula bahwa perubahan pola penggunaan lahan menjadi kriteria pemukiman akan memberikan dampak berupa pengurangan kapasitas resapan, sehingga aliran permukaan meningkat.

Selanjutnya, untuk mengetahui hasil air dan debit puncak dilakukan simulasi pada model HEC-HMS berdasarkan data curah hujan dan debit sungai Cicatih tahun 2016, yang dititikberatkan pada hasil air (*water yield*), yang mana hasil air ini merupakan bagian dari indikator respons DAS oleh adanya suatu masukan berupa hujan Asdak [6].

G. Model Basins HEC-GeoHMS DAS Cicatih

Tahapan awal Model HEC-GeoHMS adalah proses deliniasi DAS. Pada proses ini menghasilkan sebagai berikut: 1) *subbasin* (Sub DAS); 2) *river* (jaringan sungai). Pembentukan *Subbasin* Model HEC-GeoHMS memberikan pilihan pada ambang batas (*threshold limit of flow accumulation*). Besar nilai *threshold* yang digunakan akan menentukan pembentukan jaringan sungai utama dan anak sungai. Jaringan sungai yang terbentuk akan menentukan jumlah *subbasin* yang terbentuk dalam DAS [21].

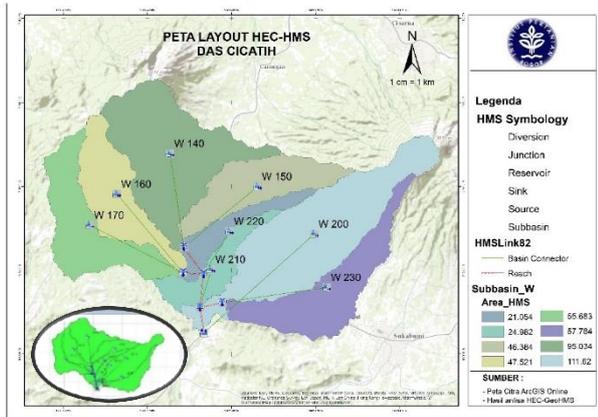
Jumlah *Subbasin* yang terbentuk dapat berpengaruh terhadap *output* model [22], dengan menggunakan ketentuan batas minimum *threshold* pada skala 250 Km² atau 25.000 ha, dan penambahan satu titik *outlet* sehingga terbentuk jaringan sungai dengan 8 *watershed* (W) sebagai *subbasin*. Titik *outlet* observasi debit terletak pada *Subbasin* W200. Hasil deliniasi disajikan pada Tabel 12 yang digunakan pada model HEC-HMS (inset peta) yang terdapat pada Gambar 11.

Tabel 12. Hasil deliniasi model HEC-GeoHMS

Subbasin	Name	Luas	
		Ha	%
1	W140	9.503,40	20,70
2	W150	4.638,40	10,10
3	W160	4.752,10	10,30
4	W180	5.568,30	12,10
5	W200	2.105,40	4,60
6	W210	2.498,20	5,40
7	W220	11.162,10	24,30
8	W230	5.778,40	12,60
Jumlah		46.006,40	100,00

Tabel 13. Parameter *input* model yang digunakan dalam model HEC-GeoHMS

No	Parameter	Keterangan	Min	Maks	Nilai digunakan	Unit
1	Curve Number	Bilangan kurva aliran permukaan	35	99	35-86	-
2	Transform (Lag Time)	Waktu tenggang	0	30	80-225	Jam
3	Recession constant	Konstanta resesi	0	1	0,30-0,85	-
4	Ratio to peak	Perbandingan terhadap aliran permukaan	0	1	0,30-0,55	-
5	Routing (Lag time)	Waktu tenggang	0,01	30	30-65	Jam



Gambar 11. Peta *layout* hasil deliniasi DAS Cicatih

Tabel 14. Faktor *impervious area* berdasarkan tipe penggunaan lahan

Penggunaan Lahan	Persen <i>Impervious</i> (Pct_ Imp)
Badan Air	100
Hutan	0
Perkebunan Sawit	5
Pemukiman	35
Sawah	5
Semak Belukar	5
Lahan Terbuka	5
Tegalan	5

Tabel 15. Klasifikasi Kelompok Hidrologi Tanah (KHT)

Kelompok tanah	Laju infiltrasi minimum (mm/jam)	Sifat fisik tanah
A	8-12	Pasir dalam, <i>loess</i> dalam, debu yang beragregat
B	4-8	<i>Loess</i> dangkal, lempung berpasir
C	1-4	Lempung berliat, lempung berpasir dangkal, tanah berkadar bahan organik rendah, dan tanah-tanah berkadar liat tinggi.

Sumber: Arsyad (2010)

H. Parameter *Input* Model HEC-GeoHMS

Parameter *input* Model HEC-GeoHMS dilakukan untuk mengidentifikasi karakteristik dari parameter DAS Cicatih. Penyesuaian nilai parameter dilakukan untuk menghasilkan keluaran yang mendekati nilai adaptif di lapangan. Parameter-parameter yang sensitif terhadap debit aliran di DAS Cicatih disajikan berturut-turut pada Tabel 13, Tabel 14 dan Tabel 15. Pada pemodelan HEC-HMS ini hasil air merupakan salah satu luaran model. Informasi keluaran pada model HEC-HMS terdapat pada tabel *global summary* untuk setiap kali simulasi hasil pada model.

Nilai *Curve Number* (CN) menunjukkan potensi air larian atau aliran permukaan pada curah hujan tertentu. Nilai CN bervariasi dari 0 (nol) sampai 100 (seratus). Nilai ini ditentukan berdasarkan sifat-sifat tanah, keadaan hidrologi, perlakuan budidaya tanaman, penggunaan lahan dan kandungan air tanah lima hari sebelumnya. Nilai CN untuk berbagai tutupan lahan disajikan berdasarkan pada konversi dari CN II). Adapun untuk konversi nilai CN dapat dilakukan berdasarkan pada persamaan (9) dan (10) sebagai berikut:

$$CN1 = \frac{CN2 - 20(100 - CN2)}{100 - CN2 + e^{2,533 - 0,0063(100 - CN2)}} \quad (9)$$

$$CN3 = CN2 * e^{0,0063(100 - CN2)} \quad (10)$$

Faktor *impervious area* (kekedapan terhadap air) merupakan parameter yang berpengaruh terhadap volume limpasan suatu DAS (Tabel 14). Faktor ini berdasarkan tipe penggunaan lahan untuk model hidrologi HEC-GeoHMS. Faktor yang berpengaruh lainnya adalah jenis tanah. Berdasarkan peta tanah semi detail, terdapat tiga kelompok hidrologi tanah di wilayah DAS Cicatih, yaitu kelompok A, B, dan C (Tabel 15).

I. Kalibrasi dan Validasi Model HEC-HMS

Metode kalibrasi yang digunakan yaitu metode kombinasi manual dan secara otomatis dilakukan untuk menentukan kisaran (*range*) nilai suatu parameter. Hal ini disebabkan karena proses penggunaannya cukup sederhana, cepat dan membutuhkan sedikit pengalaman bagi pemodel [2].

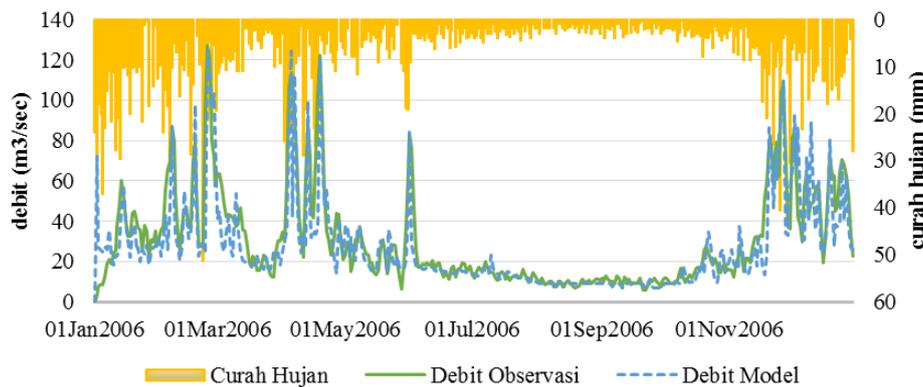
Penentuan nilai kalibrasi yang sesuai untuk DAS Cicatih dapat dilakukan dengan melihat parameter yang sensitif terhadap debit aliran di DAS Cicatih. Validasi model dilakukan untuk menguji konsistensi hasil dari model yang sudah terkalibrasi. Pada umumnya, validasi dilakukan dengan menggunakan data setelah periode data yang telah digunakan untuk kalibrasi [2].

Nilai kalibrasi model HEC-HMS berdasarkan pada persamaan (5), (6), dan (7) pada penggunaan lahan tahun 2006 menunjukkan nilai untuk *objective function*, $Z < 20\%$ yakni perbedaan nilai hasil volume model dengan volume terukur sebesar 9,72% dan debit puncak keluaran model dengan pengukuran diperoleh perbedaannya sebesar 1,7%, RMSE sebesar 13,4 dan NSE sebesar 0,649. Hasil validasi model HEC-HMS menunjukkan bahwa

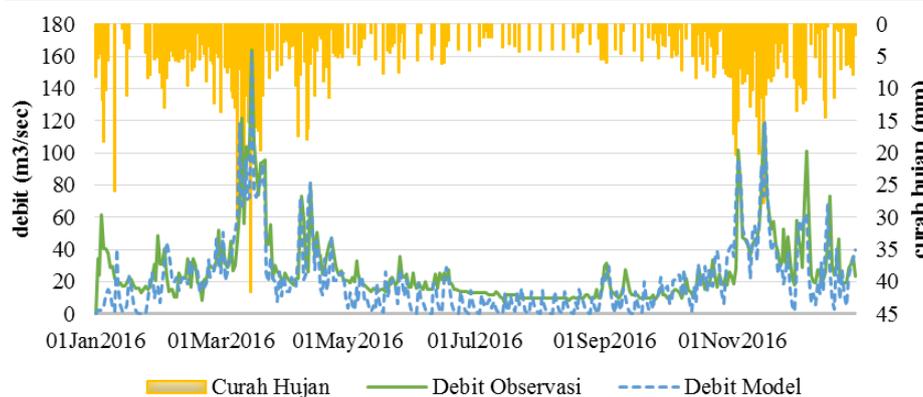
perbedaan nilai hasil volume model dengan volume terukur sebesar 19,69% dan debit puncak keluaran model dengan pengukuran diperoleh perbedaannya sebesar 0,7% ($Z < 20\%$), nilai RMSE sebesar 14,1 dan NSE sebesar 0,579. Hal ini menunjukkan bahwa model HEC-HMS sangat baik untuk mensimulasikan aliran permukaan di DAS Cicatih. Garcia *et al.*, [20] menyatakan nilai NSE merupakan tingkat akurasi model, dimana nilai $NSE < 0,5$ adalah tingkat akurasi rendah, $0,5 < NSE < 0,7$ adalah tingkat akurasi tinggi dan $NSE > 0,7$ adalah akurasi yang sangat tinggi. Hasil kalibrasi dan validasi untuk masing-masing nilai untuk Z, RMSE, dan NSE disajikan pada Tabel 16, serta grafik hasil hidrograf model dan hidrograf observasi disajikan pada Gambar 12 dan Gambar 13.

Tabel 26. Hasil kalibrasi dan validasi menggunakan Model HEC-HMS

Tuplah Tahun	Z (%)		RMSE (m ³ /dt)	NSE	Debit (m ³ /dt)	
	Volume	Debit puncak			Model	Observasi
2006 (kalibrasi)	9,72	1,7	13,4	0,649	127,0	124,8
2016 (validasi)	19,69	0,7	14,1	0,579	161,9	163,8



Gambar 12. Kalibrasi model pada penggunaan lahan DAS Cicatih tahun 2006



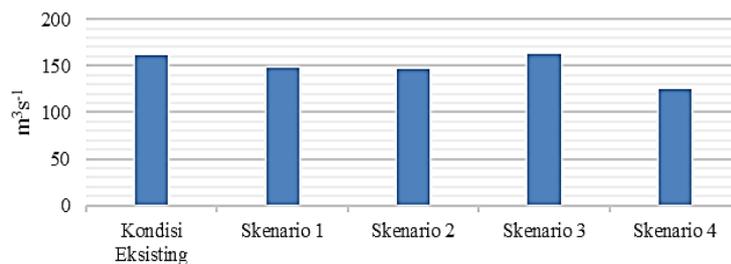
Gambar 13. Validasi model pada penggunaan lahan DAS Cicatih tahun 2016

Tabel 37. Hasil air, debit puncak, serta KRA dan KAT kondisi DAS Cicatih tahun 2016

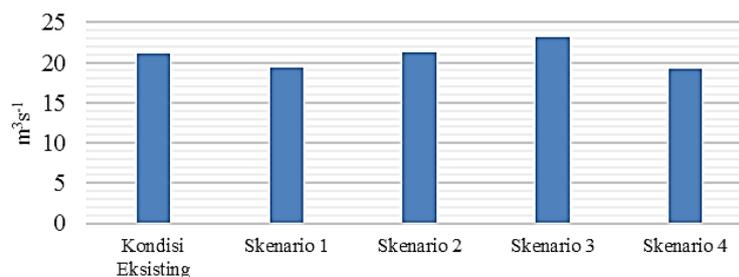
Hydrologic Element	Drainage Area (Km ²)	Peak Discharge (m ³ /dt)	Water Yield (1000 m ³)	Nilai rerata	
				KRA	KAT
W230	57,78	21,7	83.949,30	57	0,56
W220	24,98	9,7	37.391,40		
W210	21,05	8,3	32.547,00		
W200	111,62	41,9	160.352,60		
W180	55,68	21,5	82.377,80		
W160	47,52	17,7	68.260,00		
W150	46,38	17,6	67.552,30		
W140	95,03	35,6	135.232,00		
Outlet	460,06	161,9	667.345,40		

Tabel 18. Rekapitulasi penerapan skenario terhadap hasil air dan indikator hidrologi

No.	Skenario	Peak Flow		Water Yield		Nilai	
		(m ³ /dt)	(%)	(1000 m ³)	(%)	KRA	KAT
1	Eksisting	161,90	-	667.345,40	-	57,00	0,56
2	Skenario 1	147,80	8,71	609.769,10	8,63	54,00	0,45
3	Skenario 2	146,10	9,76	669.868,40	-0,38	50,00	0,36
4	Skenario 3	162,70	-0,49	730.638,60	-9,48	56,00	0,52
5	Skenario 4	125,30	22,61	607.089,10	9,03	47,00	0,27



Gambar 14. Grafik debit puncak pada kondisi eksisting dan skenario



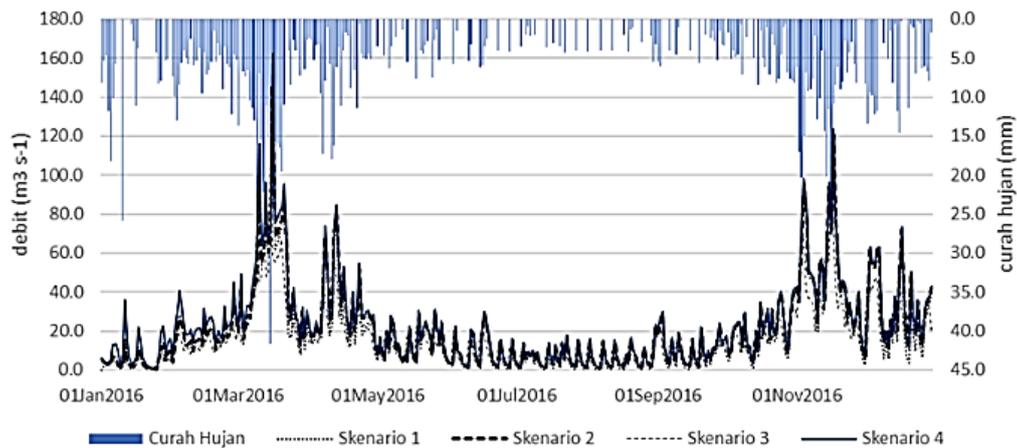
Gambar 15. Grafik hasil air pada kondisi eksisting dan skenario

Berdasarkan hasil pada Tabel 16, hal ini menunjukkan bahwa model telah memiliki tingkat akurasi dan konsistensi yang lebih baik sehingga dapat digunakan untuk mensimulasikan hasil air pada skenario yang telah direncanakan.

J. Skenario Perubahan Penggunaan Lahan Terhadap Hasil Air, Debit Puncak, serta KRA dan KAT pada DAS Cicatih

Simulasi hasil air dilakukan terhadap beberapa skenario, yang diperkirakan dapat memberikan perubahan kontribusi terhadap hasil air yang lebih baik serta pada besaran KAT dan KRA tertentu

sebagai indikator respons DAS Cicatih pada curah hujan tertentu (Gambar 16). Penekanan output pada model HEC-HMS ini pada kontribusi hasil air pada masing-masing skenario. Penggunaan lahan eksisting (2016) yang diperoleh berdasarkan hasil sebelumnya (Tabel 9) dan Gambar 9, diperoleh hasil air berdasarkan pada penggunaan lahan ini yang disajikan pada Tabel 17. Selanjutnya, berdasarkan skenario yang telah disusun dengan metode yang sama diperoleh hasil untuk masing-masing skenario seperti yang disajikan pada Tabel 18, Gambar 14, dan Gambar 15.



Gambar 16. Korelasi curah hujan terhadap skenario

Penerapan skenario ke empat yakni penggunaan lahan berdasarkan RTRW Kabupaten Sukabumi periode 2012-2032, DAS Cicatih mampu menurunkan debit puncak dan hasil air (*water yield*), sehingga dapat dinyatakan bahwa fungsi hidrologis DAS membaik. Semakin kecil volume aliran yang dihasilkan dan semakin besar volume simpanan artinya kondisi DAS akan membaik [4]. Hal ini dikarenakan ketersediaan aliran pada musim kemarau dan debit maksimum yang dihasilkan dapat terkendali sehingga kemungkinan terjadinya hasil air akan tersedia sepanjang tahun.

Dilihat dari besaran nilai karakteristik hidrologi (Tabel 18) dapat diketahui bahwa pada skenario ke empat merupakan yang terbaik dalam menghasilkan hasil air (*water yield*) beserta penurunan terhadap besaran nilai karakteristik KRA-KAT. Perubahan nilai tersebut tidak terlepas dari parameter yang telah dimasukkan yang diduga sebagai faktor pemicu bukan saja hujan dan debit melainkan juga termasuk didalamnya karakteristik DAS dalam bentuk *Persen Impervious* (Pct Imp), *Initial Abstraction* (Ia), *Basin CN*, serta nilai dari *Time of Concentration* (Tc) pada masing-masing skenario. Penurunan hasil air sebesar 8,98% dan debit puncak sebesar 22,61% dari kondisi eksisting serta KRA sebesar 47,00 dan KAT sebesar 0,27 lebih rendah dari hasil skenario lainnya. Hal ini memperlihatkan bahwa pada penelitian dengan melakukan skenario perubahan penggunaan lahan sangat berdampak pada karakteristik hidrologi DAS Cicatih.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, analisis dampak perubahan penggunaan lahan pada DAS Cicatih secara umum telah menghasilkan perubahan terhadap karakteristik hidrologi. Perubahan penggunaan lahan pada rentang waktu 2006-2016

menunjukkan pergeseran pola perubahan penggunaan lahan dari jenis penggunaan hutan ke pertanian, perkebunan, dan berlanjut pada permukiman yang berakibat pada hilangnya daya resap tanah. Perubahan terjadi pada penggunaan lahan hutan, sawah, semak belukar dan tegalan yang berubah menjadi kawasan permukiman, lahan terbuka dan perkebunan. Penurunan terbesar terjadi pada tutupan lahan tegalan sebesar 0,55%, sementara peningkatan terbesar terjadi pada tutupan lahan permukiman yakni sebesar 1,48%. Perubahan penggunaan lahan yang lebih kepada pengembangan pusat bisnis, industri, dan kawasan berikat (kriteria permukiman) telah memberikan dampak negatif terhadap respon hidrologi. Hal ini dapat dilihat pada penggunaan lahan tahun 2016 dimana terjadi kecenderungan peningkatan pada volume hasil air dan debit puncak dari tahun-tahun sebelumnya. Selain itu, hasil analisis karakteristik hidrologi berdasarkan pada indikator besaran nilai KRA yang lebih besar dari 50 dan KAT lebih dari 0,5 menunjukkan bahwa kondisi umum DAS Cicatih sudah mulai terganggu. Dampak dari laju konversi lahan ini telah menyebabkan aliran air hujan yang jatuh tidak terserap oleh tanah dan langsung mengalir diatas permukaan tanah sehingga aliran permukaan menjadi besar dan tak terkendali.

Simulasi perubahan penggunaan lahan berdasarkan model HEC-HMS di DAS Cicatih telah mempengaruhi karakteristik hidrologi DAS. Terutama pada penerapan skenario ke-4 yakni Rencana Tata Ruang dan Wilayah (RTRW) Kabupaten Sukabumi periode 2012-2032 yang merupakan respon hidrologi terbaik berdasarkan pada hasil air dan debit puncak yang paling rendah dibandingkan dengan skenario lainnya. Kedua indikator hidrologi juga menunjukkan klasifikasi pada *range* yang lebih baik ($0,3 < KAT \leq 0,4$) dan ($20 < KRA \leq 50$). Hal ini terjadi mengingat luas

kawasan hutan pada skenario ke-4 lebih besar dibandingkan pada skenario lainnya yakni sebesar 31,9% yang diterapkan sebagai kawasan hutan konservasi dan sebagai kawasan hutan produksi tetap.

REFERENSI

- [1] N. Sinukaban, S. D. Tarigan, W. Putrakusuma, D. P. T. Baskoro, and E. D. Wahyuni, "Analysis of Watershed Function sediment transport Across various type of filter strip," Final report in association with ICRAF and UNILA, Bogor Agricultural University, 2000.
- [2] Indarto, *Hidrologi Dasar dan Contoh Aplikasi Model Hidrologi*. Jakarta: Bumi Aksara, 2010.
- [3] USEPA, *Our Built and Natural Environments: A Technical Review of the Interactions between Land Use*. Transportation And Environmental Qualit, 2001.
- [4] S. Arsyad, *Konservasi Tanah dan Air*, Bogor: IPB Press, 2010.
- [5] V. T. Chow, D. R. Maidment, and L. W. Mays, *Applied Hydrology*, New York: McGraw-Hill Inc, 1988.
- [6] C. Asdak, *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta: UGM Press, 2010.
- [7] E. Seyhan, *Dasar-dasar Hidrologi (Fundamental of Hydrology)*, Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 1977.
- [8] J. Ferliande, "Pengelolaan DAS Cicitih Kabupaten Sukabumi," Departemen Geografi. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Indonesia, 2009.
- [9] P. Redjekiningrum, "Pengembangan Model Alokasi Air Untuk Mendukung *Optimal Water Sharing* Kasus DAS Cicitih-Cimandiri, Kabupaten Sukabumi, Jawa Barat," Disertasi Doktor, Institut Pertanian Bogor, 2011.
- [10] D. N. Moriasi, J. G. Arnold, M. W. V. Liew, R. L. Bingner, R. D. Harmel, and T. L. Veith TL, "Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations," *J American Society of Agricultural and Biological Engineers*, vol. 50, no. 3, pp. 885-900, 2007.
- [11] R. S. Lunetta and C. D. Elvidge, *Remote sensing change detection*, London: Taylor and Francis, 1999.
- [12] *Peraturan Direktur Jenderal Rehabilitasi Lahan dan Perhutanan Sosial Nomor: P. 61 /Menhut-II/2014 tentang Pedoman Monitoring dan Evaluasi Daerah Aliran Sungai*, Direktorat Jenderal Rehabilitasi Lahan dan Perhutanan Sosial, 2014.
- [13] *Surat Keputusan Menteri Kehutanan No: SK. 328/Menhut-II/2009 tentang Penetapan Daerah Aliran Sungai (DAS) Prioritas Dalam Rangka Rencana Pembangunan Jangka Menengah (RPJM) Tahun 2010-2014*, Departemen Kehutanan, 2009.
- [14] (2010) HEC-GeoHMS *Geospatial Hydrologic Modeling Extension User's Manual*. [Online]. Available: <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/downloads.aspx>.
- [15] M. Ali, S. J. Khan, I. Aslam, and Z. Khan, "Simulation of the impacts of landuse change on surface runoff of Lai Nullah Basin in Islamabad, Pakistan," *Landscape and Urban Planning*, vol. 102, pp. 271-279, 2011.
- [16] Y. Yuan and K. Qaiser, "Floodplain Modeling in the Kansas River Basin Using Hydrologic Engineering Center (HEC)," *Models Impacts of Urbanization and Wetlands for Mitigation*, EPA/600/R-11/116. www.epa.gov, 2011.
- [17] *Hydrologic Modeling System, HEC-HMS (User's Manual)*. US Army Corps of Engineers-Hydrologic Engineering Center. 2013.
- [18] M. Paudel, "An Examination of Distributed Hydrologic Modeling Methods as Compared with Traditional Lumped Parameter Approaches," Disertasi Doktor, Brigham Young University, Amerika Serikat, 2010.
- [19] S. Kusdaryanto, "Kajian Pengaruh Situ terhadap Respons Hidrologi pada DAS Pesanggrahan Menggunakan Model HEC-HMS," Tesis Magister, Institut Pertanian Bogor, 2011.
- [20] A. García, A. Sainz, J. A. Revilla, C. Álvarez, J. A. Juanes, and A. Puente, "Surface water resources assessment in scarcely gauged basins in the north of Spain," *Journal of Hydrology*, vol. 356, no. 3-4, pp. 312-326, 2008.
- [21] D. Sulaeman, "Simulasi Teknik Konservasi Tanah Dan Air Metode Vegetatif Dan Sipil Teknis Menggunakan Model Swat," Tesis Magister, Program Pascasarjana Institut Pertanian Bogor, 2016.
- [22] T. W. Fitzhugh and D. S. Mackay, "Impacts of input parameter spatial aggregation on an agricultural nonpoint source pollution model," *Journal of Hydrology*, vol. 236, pp. 35-53, 2000.

