

PERBANDINGAN HIDROGRAF BANJIR MENGGUNAKAN BEBERAPA METODE PERHITUNGAN CURAH HUJAN EFEKTIF (STUDI KASUS: DAS CISADANE HULU)

COMPARISON OF DISCHARGE HYDROGRAPH USING SOME METHODS OF EFFECTIVE RAINFALL (CASE STUDY: UPPER CISADANE WATERSHED)

Orita Mega Delani¹⁾ Bambang Dwi Dasanto²⁾*

^{1, 2)} Departemen Geofisika dan Meteorologi Institut Pertanian Bogor, Indonesia

E-Mail: oritamega@gmail.com; bambangdwi@apps.ipb.ac.id

Diterima: 23 Juli 2016; Direvisi: Juli 2016; Disetujui: 27 Oktober 2016

ABSTRAK

Perhitungan curah hujan efektif merupakan langkah yang penting dalam pemodelan hidrologi. Metode yang digunakan untuk menghitung curah hujan efektif ini biasanya ditentukan tanpa memperhatikan kondisi DAS yang dikaji. Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan metode perhitungan curah hujan efektif yang paling optimum dengan pendekatan infiltrasi, khususnya di sub DAS Cisadane Hulu dan menganalisis karakteristik dominan untuk metode terpilih. SCS-CN, Initial and Constant Rate Loss Method, dan Green and Ampt Loss Method merupakan metode yang diterapkan untuk mengestimasi volume limpasan pada DAS Cisadane Hulu. Simulasi dilakukan menggunakan model HEC-HMS dan diuji dengan EF dan RMSE. Tiga kejadian debit puncak terpilih digunakan dalam simulasi model. Uji dilakukan terhadap debit puncak dan volume hasil simulasi menunjukkan bahwa model dengan metode Green and Ampt Loss Method menghasilkan hidrograf yang paling mendekati kondisi di lapang untuk wilayah DAS Cisadane Hulu dengan nilai EF sebesar 0.764 dan RMSE sebesar 5.93 m³/s. Berdasarkan analisis yang dilakukan, metode Green and Ampt sesuai digunakan untuk wilayah yang memiliki kondisi topografi pegunungan dan bentuk DAS yang serupa dengan DAS Cisadane Hulu.

Kata Kunci: Curah hujan, Green and Ampt Loss Method, Initial and Constant Rate Loss Method, SCS-CN

ABSTRACT

Calculation of effective rainfall is an important step in hydrologic modelling. The used methods to calculate effective rainfall rarely observe watershed conditions on site. The objectives of the study is to determine the optimum method in calculating effective rainfall based on infiltration approach in Upper Cisadane Watershed and to analysis dominant characteristic of watershed on selected method. SCS-CN, Initial and Constant Rate Loss Method, and Green and Ampt Loss Method were the methods that used to estimate run off value in Upper Cisadane Watershed. The simulation was performed using HEC-HMS and tested using EF and RMSE on peak discharge and volume of hydrograph. The three events of peak discharge was chosen. Based on EF and RMSE test, Green and Ampt Loss Method model showed that simulated hydrograph was similar to measured hydrograph in Upper Cisadane Watershed with EF was 0.764 and RMSE was 5.93 m³/s. Based on the analysis, green and Ampt method is recommended to use on watershed with mountainous topographic and simillar on shape with Upper Cisadane Watershed.

Keywords: Effective rainfall, Green and Ampt Loss Method, Initial and Constant Rate Loss Method, SCS-CN

PENDAHULUAN

Studi mengenai model hidrologi telah banyak dilakukan untuk mengetahui karakteristik suatu daerah aliran sungai melalui pendekatan hidrograf. Menurut Shaw et al. (2011), masalah utama pada pendekatan hidrograf adalah perhitungan curah hujan efektif untuk sebuah kejadian hujan di daerah aliran sungai, baik dalam prediksi maupun analisisnya. Curah hujan efektif adalah input utama untuk menghasilkan debit puncak aliran dan merupakan bagian dari gross rainfall (Šraj et al., 2010). Estimasi nilai curah hujan efektif diperoleh dari pemisahan curah hujan total atau *gross rainfall* dengan bagian hujan yang hilang (*losses*). Pendugaan nilai hujan efektif ini biasanya kurang akurat, hal ini dapat mempengaruhi akurasi hasil debit limpasan yang diperoleh.

Studi mengenai penentuan curah hujan efektif telah dilakukan di berbagai DAS. Saleh et al. (2011) membandingkan beberapa metode curah hujan efektif (*Initial and Constant Rate Loss Method*, *Green and Ampt*, dan *SCS-CN*) berdasarkan *percent error* pada debit puncak dan volume limpasan di DAS Kan, Iran. Berdasarkan hal tersebut, 70% dari *output* kejadian yang dihasilkan menunjukkan bahwa *Initial and Constant Rate Loss Method* merupakan metode yang paling sesuai untuk daerah tersebut. Hal yang sama telah dilakukan oleh Abood et al. (2012) untuk DAS Kenyir dan Berang di Malaysia serta Zema et al. (2016) untuk DAS Mésima Torrent, Calabria, Italia Selatan dan metode yang paling sesuai adalah *SCS-CN*. Sedangkan Sardoi et al. (2012), membandingkan metode yang sama dengan *percent error in peak* dan *peak-weighted root mean square* untuk debit puncak dan volume limpasan. Hasil menunjukkan bahwa metode *Green and Ampt* direkomendasikan untuk dapat diaplikasikan di wilayah studi.

Penelitian mengenai model hidrologi di Indonesia umumnya menggunakan metode *SCS-CN* (Risyanto, 2007; Emilda, 2010; Nilda, 2013). Penentuan metode perhitungan curah hujan efektif ini biasanya disesuaikan dengan ketersediaan data dan tingkat kesederhanaan metode, tanpa mempertimbangkan kondisi fisik lokasi kajian. Berdasarkan hal tersebut maka perlu dilakukan kajian penggunaan metode perhitungan curah hujan efektif untuk menentukan metode yang paling optimum berdasarkan kondisi fisik di lapang, khususnya untuk wilayah DAS Cisadane Hulu. Harapannya penelitian ini dapat digunakan sebagai rekomendasi untuk memodelkan kondisi hidrologi di wilayah terkait.

Tujuan penelitian ini adalah menentukan metode perhitungan curah hujan efektif dengan pendekatan infiltrasi yang paling optimum, khususnya di sub DAS Cisadane Hulu dan menganalisis karakteristik dominan untuk metode terpilih.

KAJIAN PUSTAKA

Hujan

Hujan merupakan faktor utama yang mengendalikan siklus hidrologi dalam suatu daerah aliran sungai. Berlangsungnya proses ekologi maupun geografi yang terjadi di bumi sangat tergantung pada siklus hidrologi tersebut, sehingga dapat dikatakan bahwa hujan merupakan faktor pendukung dan pembatas bagi usaha pengelolaan sumber daya air di wilayah DAS (Asdak, 2014). Pada daerah aliran sungai, karakteristik dari hujan sendiri sangat mempengaruhi *output* dari rencana pengelolaannya.

Curah hujan yang turun di suatu wilayah memiliki karakteristik lokal yang sangat dipengaruhi oleh kondisi topografi suatu wilayah. Penentuan sebaran curah hujan wilayah ini dapat dilakukan dengan metode *Polygon Thiesen* yang membagi sebaran hujan tersebut berdasarkan bobot luas masing-masing stasiun hujan.

Hujan Efektif

Curah hujan efektif merupakan bagian curah hujan berlebih yang menyebabkan terjadinya limpasan langsung. Besarnya curah hujan efektif dipengaruhi oleh kondisi lahan, karakteristik DAS, dan besarnya curah hujan yang jatuh ke wilayah sungai. Curah hujan efektif diperoleh dari selisih antara curah hujan total dan *precipitation loss*.

Precipitation loss dihitung dengan pendekatan infiltrasi. Menurut Petra (2011) dan USACE (1994), infiltrasi merupakan komponen dasar *loss* pada presipitasi yang mempengaruhi besarnya nilai, *timing* dan distribusi *surface runoff*. Kapasitas infiltrasi merupakan laju maksimum sebidang tanah yang dapat menyerap air pada kondisi dan waktu tertentu. Metode yang digunakan untuk menentukan besarnya *loss* antara lain *SCS-CN* (Risyanto, 2007; Emilda, 2010; Nilda, 2013), *Green and Ampt Loss Method*, dan *Initial and Constant Rate Loss Method*. Perhitungan curah hujan efektif mengasumsikan bahwa kadar air tanah di suatu daerah aliran sungai seragam.

SCS-CN

Soil Conservation Service Curve Number atau SCS-CN adalah model yang dikembangkan oleh NRCS CN dengan tujuan mengestimasi besarnya *runoff* suatu wilayah sungai atau sub wilayah sungai. Metode SCS-CN merupakan model yang sederhana, mudah diprediksi dan stabil. Namun pada penggunaan dengan durasi yang panjang nilai infiltrasi akan mendekati nol, bukan konstan (USACE, 2000).

Parameter yang dibutuhkan dalam perhitungan *loss* dengan metode ini adalah *curve number* yang diturunkan dari data tutupan lahan, klasifikasi tanah berdasarkan *hydrology soil group* (HSG), dan curah hujan. Nilai *curve number* (CN) berkisar antara 35 hingga 100. *Curve number* 35 mewakili wilayah yang memiliki kemampuan infiltrasi yang cukup tinggi, sedangkan *curve number* 100 menunjukkan bahwa curah hujan yang jatuh seluruhnya melimpas menjadi *direct runoff*.

Initial and Constant Rate Loss Method

Metode *Initial and Constant Rate Loss* mengasumsikan bahwa laju infiltrasi maksimum akan mencapai konstan. Metode ini mencakup dua komponen penting, yaitu komponen *initial condition* atau *loss* awal dan laju infiltrasi konstan. *Initial and Constant Rate Loss Method* merupakan metode yang paling sederhana dan mudah digunakan. Selain itu metode ini mampu menjelaskan keragaman volume limpasan dengan input parameter yang sedikit. Kelemahan dari metode ini yaitu kurang akurat untuk menentukan besarnya *precipitation loss* di wilayah tanpa alat ukur (USACE, 2000).

Green and Ampt Loss Method

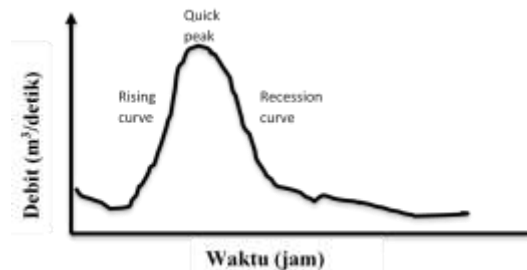
Metode *Green and Ampt* merupakan metode yang tepat digunakan untuk daerah aliran sungai yang minim alat pengukur. Metode ini mengestimasi besarnya curah hujan yang terinfiltrasi dengan basis data klasifikasi tanah. Asumsi yang digunakan dalam metode ini adalah kadar air tanah dan profil tanah dianggap seragam (USACE, 2000).

Hidrograf Aliran

Debit puncak merupakan informasi yang sangat dibutuhkan kaitannya dengan perencanaan bangunan pengendalian banjir. Tinggi rendahnya debit yang terjadi di suatu daerah aliran sungai dipengaruhi oleh distribusi spasial dan temporal serta karakteristik wilayah (Maca, 2003; Daniil, 2005). Informasi debit biasanya disajikan dalam bentuk kurva hidrograf aliran. Hidrograf aliran merupakan kurva yang

menggambarkan hubungan antara debit limpasan terhadap waktu. Menurut Viessman *et al.* (1997), hidrograf terdiri dari tiga bagian yaitu *rising curve*, *quick peak* dan *recession curve* yang digambarkan pada **Gambar 1**. Bentuk kemiringan kurva berbeda-beda tergantung pada respon DAS terhadap curah hujan yang jatuh, intensitas dan durasi hujan.

METODOLOGI



Gambar 1 Hidrograf

1 Wilayah Kajian

DAS Cisadane Hulu terletak di Kabupaten Bogor, Jawa Barat dan mencakup empat wilayah kecamatan, yaitu Kecamatan Cijeruk, Cigombong, Caringin, Ciawi dan sebagian wilayah kota Bogor (Gambar 2). DAS ini terletak pada 6°36' – 6°43' LS dan 106°44' – 106°57' BT dengan luas 23 825 Ha. DAS Cisadane Hulu merupakan wilayah tangkapan hujan dengan sumber alirannya berasal dari Gunung Gede-Pangrango dan Gunung Salak. *Outlet* dari DAS Cisadane Hulu yaitu Bendung Empang.

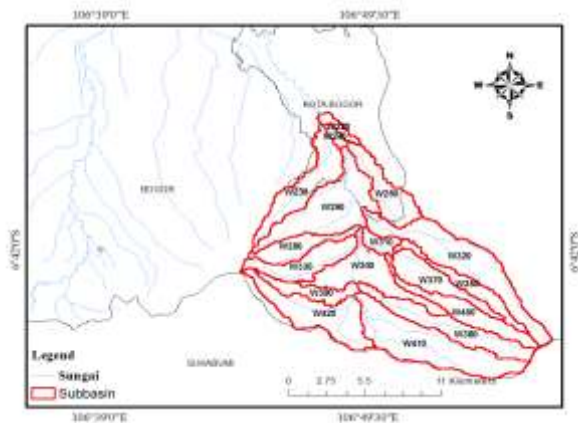
Menurut Emilda (2010), DAS Cisadane Hulu berbentuk semiradial. Berdasarkan klasifikasi iklim Schmidt-Ferguson, DAS Cisadane Hulu tergolong ke dalam tipe iklim A. Tipe iklim ini ditandai dengan kondisi iklim yang basah dan bervegetasi hutan hujan tropis. Curah hujan rata-rata tahunan wilayah ini sekitar 3919 mm.

Data Masukan

Data yang digunakan sebagai input dalam penelitian ini antara lain

1. Curah hujan per 15 menit pos hujan Lengkok tahun 2009 dan 2010 yang diperoleh dari BPDAS Citarum Ciwung
2. Debit harian bendung Empang yang diperoleh dari PSDA Ciliwung Cisadane tahun 2009 dan 2010
3. Curah hujan harian stasiun Empang, Gunung Mas dan Katulampa tahun 2009 dan 2010 yang diperoleh dari BPDAS Citarum Ciwung
4. Citra LANDSAT 4-5 tahun 2009 wilayah Jawa Barat, path row 122/65

5. Peta *digital* tekstur tanah dengan skala 1:25000 sub DAS Cisadane Hulu yang diperoleh dari BPDAS Citarum Ciwung
6. Peta *Digital Elevation Model* (DEM) Sub DAS Cisadane Hulu (30 m × 30 m)



Gambar 2 Lokasi wilayah kajian DAS Cisadane Hulu

Prosedur Analisis Data

Penelitian ini dilakukan meliputi dua tahapan utama, yaitu perhitungan parameter *input* dalam perhitungan curah hujan efektif dan penyusunan model hidrograf. Parameter *input* dalam perhitungan curah hujan efektif meliputi klasifikasi lahan, klasifikasi tekstur tanah, perhitungan persen *impervious area*, analisis presipitasi, dan perhitungan parameter *input* masing-masing metode. Penyusunan model hidrograf dilakukan dengan ekstraksi daerah aliran sungai, penyusunan elemen DAS serta sub model utama yaitu *loss*, *transform*, *routing*, dan *baseflow*.

Ekstraksi daerah aliran sungai dilakukan dengan *input* utama yaitu data *digital elevation model*, sehingga diperoleh bentuk dan parameter fisik DAS, seperti panjang sungai, kemiringan, dan luas. Ekstraksi dilakukan dengan *Arc Geo-HMS* dan *Arc Hydro* yang merupakan ekstensi tambahan pada perangkat lunak *Arc MAP*. Hasil ekstraksi kemudian dilanjutkan untuk menyusun elemen model yang terdiri dari *subbasin*, *reach*, *source*, *sink* dan *junction*.

1) Perhitungan Parameter Masukan Metode Curah Hujan Efektif

Perhitungan hujan efektif dilakukan dengan menggunakan metode *Initial and Constant Rate Loss*, *Soil Conservation Service-Curve Number* (SCS- CN), *Green and Ampt*.

Initial and Constant Rate Loss Method

Besarnya hujan efektif yang terbentuk digambarkan dengan persamaan (USACE, 2000)

$$Pe_t = \begin{cases} P_t - f_c & \text{if } P_t > f_c \\ 0 & \text{selainnya} \end{cases} \dots\dots\dots(1)$$

dimana Pe_t adalah curah hujan efektif pada waktu ke- t (mm), dan f_c merupakan laju infiltrasi yang dihitung berdasarkan klasifikasi tanah dengan *Hydrology Soil Group*.

SCS-CN

Metode SCS-CN merupakan metode empiris yang menggunakan pendekatan *curve number* untuk masing-masing penutupan lahan, jenis tanah dan kondisi kelembaban tanah sebelumnya. Besarnya *precipitation loss* yang terjadi diwakili dengan nilai *curve number*. *Curve Number* dihitung berdasarkan kondisi kadar air tanah (KAT) awal. Kondisi ini terbagi menjadi tiga yaitu kondisi normal (CN II), kondisi kering (CN I), dan kondisi basah (CN III).

$$CN(II)_k = \frac{\sum_{i=1}^n A_i CN_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \dots\dots\dots(2)$$

CN (II)_k merupakan CN rata-rata berbobot pada suatu luasan (A) tertentu. Nilai CN untuk KAT kering dan basah menurut Bo *et al.* (2011) yaitu :

$$CN(I) = \frac{4.2CN(II)}{10-0.058CN(II)} \dots\dots\dots(3)$$

dan

$$CN(III) = \frac{23CN(II)}{10+0.13CN(II)} \dots\dots\dots(4)$$

Curah hujan efektif dihitung berdasarkan persamaan :

$$Pe = \frac{(P-I_a)^2}{P-I_a+S} \text{ untuk } P > I_a$$

dan selainnya $Pe=0$ (5)

$$I_a = \lambda S \dots\dots\dots(6)$$

Dimana P_e merupakan curah hujan efektif (mm), P adalah curah hujan total (mm) dan I_a , *initial abstraction* (mm) yang diasumsikan 0.2S. S adalah retensi potensial maksimum setelah limpasan terbentuk (mm) yang dirumuskan dengan :

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad \dots\dots\dots(7)$$

Green and Ampt Loss Method

Curah hujan efektif hasil metode *Green and Ampt* bergantung pada *Initial content*, *saturated content*, *suction* (S_f) dan *conductivity* (K). *Initial content* (θ_i) dihitung berdasarkan persamaan (USACE, 2000)

$$\theta_i = \theta_e(1 - s_e) \quad \dots\dots\dots(8)$$

θ_e merupakan porosivitas efektif, sedangkan s_e adalah *relative saturation* dari tanah ketika hujan mulai. Nilai s_e ini diasumsikan sebesar 0.3, sehingga *initial content* dihitung sebesar 0.7 θ_e . Metode *Green Ampt* mengestimasi nilai laju infiltrasi (f) dengan F_t sebagai *loss* kumulatif pada waktu ke- t

$$f = K \left[\frac{1 + (\Phi - \theta_i) \cdot S_f}{F_t} \right] \quad \dots\dots\dots(9)$$

Penyusunan Hidrograf Aliran

Hidrograf disusun dengan menggunakan model *Hydrologic Engineering Center Hydrologic Modeling System* atau HEC-HMS. HEC-HMS merupakan salah satu model yang dapat digunakan untuk mensimulasikan curah hujan hingga menjadi limpasan. Komponen utama simulasi pada model ini terbagi menjadi enam komponen utama yaitu komponen meteorologi, *loss* (*Initial and Constant Rate Loss*, SCS-CN, *Green and Ampt*), *transform* (SCS), *routing* (*Kinematic Wave*) dan *baseflow* (*Recession*).

2) Pengujian Model

Pengujian dilakukan dengan cara membandingkan antara debit puncak dan volume limpasan hasil simulasi model dengan data pengukuran lapang. Pengujian model dilakukan dengan uji model koefisien *Nash-Sutcliffe* (EF) dan *Root Mean Square Error* (RMSE) yang tersedia di dalam model HEC-HMS. Koefisien *Nash-Sutcliffe* (EF) dihitung dengan persamaan (Nash dan Sutcliffe 1970)

$$EF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obs,i} - Q_{sim,i})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{obs,i} - \bar{Q}_{sim,i})^2} \quad \dots\dots\dots(10)$$

Dimana $Q_{obs,i}$ sebagai debit pengamatan pada waktu ke- t (m^3/s), dan $Q_{sim,i}$ adalah debit hasil simulasi model pada waktu ke- t (m^3/s), sedangkan $\bar{Q}_{sim,i}$ mewakili debit pengamatan rata-rata (m^3/s). Nilai EF berkisar antara $-\infty$ hingga 1, apabila EF mendekati 1 maka dapat dikatakan data hasil model sangat mirip dengan data pengamatan, jika $EF < 0$ maka data observasi lebih baik dari data hasil model (Chu *et al.*, 2009; Kande *et al.*, 2015).

Selain *Nash-Sutcliffe*, RMSE juga digunakan untuk menguji kesesuaian model. Nilai RMSE merupakan representasi dari rata-rata kuadrat simpangan antara nilai keluaran model (Q_{sim}) dan nilai pengukuran di lapangan (Q_{obs}). Model yang representatif menunjukkan nilai RMSE yang mendekati nilai 1. Perhitungan nilai RMSE dilakukan dengan menggunakan rumus :

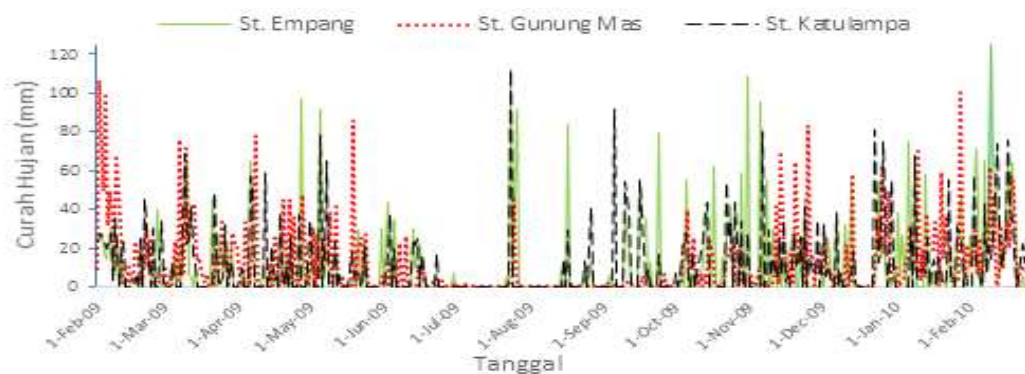
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (Q_{obs} - Q_{sim})^2} \quad \dots\dots\dots(11)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

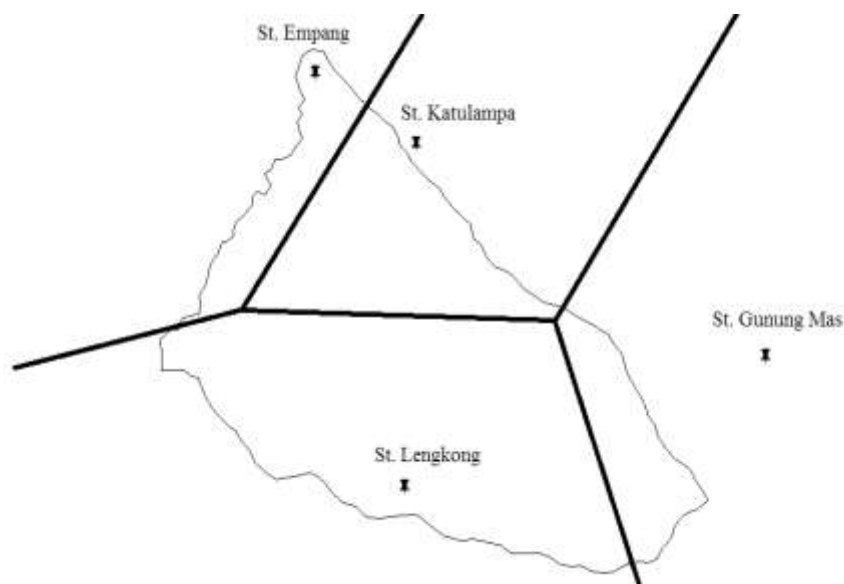
1 Data Curah Hujan

Data curah hujan diperoleh dari stasiun pengamatan di sekitar wilayah yang mewakili DAS Cisadane Hulu. Stasiun pengamatan yang digunakan antara lain stasiun Empang, Katulampa, Lengkong dan Gunung Mas. Data curah hujan untuk masing-masing stasiun pengamatan yang digunakan dalam penelitian ini disajikan dalam Gambar 3. Metode *Polygon Thiessen* digunakan untuk menentukan luasan wilayah yang diwakili oleh masing-masing stasiun pengamatan curah hujan. Hasil plotting luasan wilayah dengan metode ini digambarkan dalam Gambar 4. Stasiun Empang, Stasiun Lengkong, Stasiun Gunung Mas dan Stasiun Katulampa masing-masing memiliki bobot 14%, 35%, 25% dan 26% dari luas total keseluruhan DAS.

Perhitungan curah hujan efektif dilakukan pada tiga kejadian hujan berdasarkan data curah hujan observasi tertinggi. Ketiga kejadian debit puncak tersebut diantaranya periode 21 Februari 2009 hingga 25 Februari 2009 (kejadian I), 5 November 2009 hingga 8 November 2009 (kejadian II), dan 18 Februari 2010 hingga 21 Februari 2010 (kejadian III).



Gambar 3 Disrbusi curah hujan pada masing-masing stasiun pengamatan di DAS Cisdane Hulu



Gambar 4 Plotting curah hujan wilayah dengan Metode Polygon Thiessen

Identifikasi Tutupan Lahan dan Tekstur Tanah

DAS Cisdane Hulu terbagi menjadi enam jenis tekstur tanah yang berbeda, yaitu klei, lempung, lempung berdebu, lempung berpasir, lempung klei berpasir, dan pasir berlempung (Gambar 5). Informasi tekstur tanah digunakan untuk menentukan besarnya infiltrasi yang terjadi dalam suatu daerah aliran sungai.

Tekstur tanah diklasifikasikan berdasarkan *Hydrology Soil Group* (HSG) yang membagi tanah ke dalam empat jenis kelas yaitu kelas A, B, C, dan D. Pengelompokan ini dilakukan berdasarkan kemampuan infiltrasi dari masing-masing tekstur tanah. Klasifikasi HSG DAS Cisdane Hulu dijelaskan dalam Tabel 1. Kelas A yang meliputi memiliki kemampuan laju infiltrasi tertinggi yaitu

antara 203.2 hingga 304.8 mm/jam sedangkan laju infiltrasi terendah yaitu kelas tanah D sebesar 0.0 – 25.4 mm/jam.

Penutupan lahan merupakan salah satu *input* utama yang diperlukan dalam pendugaan besarnya curah hujan efektif yang terjadi di suatu daerah aliran sungai. Data penutupan lahan diperoleh dari klasifikasi citra Landsat TM 5 tahun 2010 dengan *path/row* wilayah Bogor yaitu 122/65. Tutupan lahan diklasifikasikan dengan teknik klasifikasi tak terbimbing atau *unsupervised classification*. Klasifikasi tutupan lahan dilakukan dengan cara mengelompokkan nilai *pixel* ke dalam kelas-kelas tertentu. Klasifikasi pada DAS Cisdane Hulu dibagi ke dalam tujuh kelas yang berbeda (Nilda, 2014; Setioputro, 2016) yaitu:

- 1 Badan air
- 2 Hutan memiliki kondisi baik

- 3

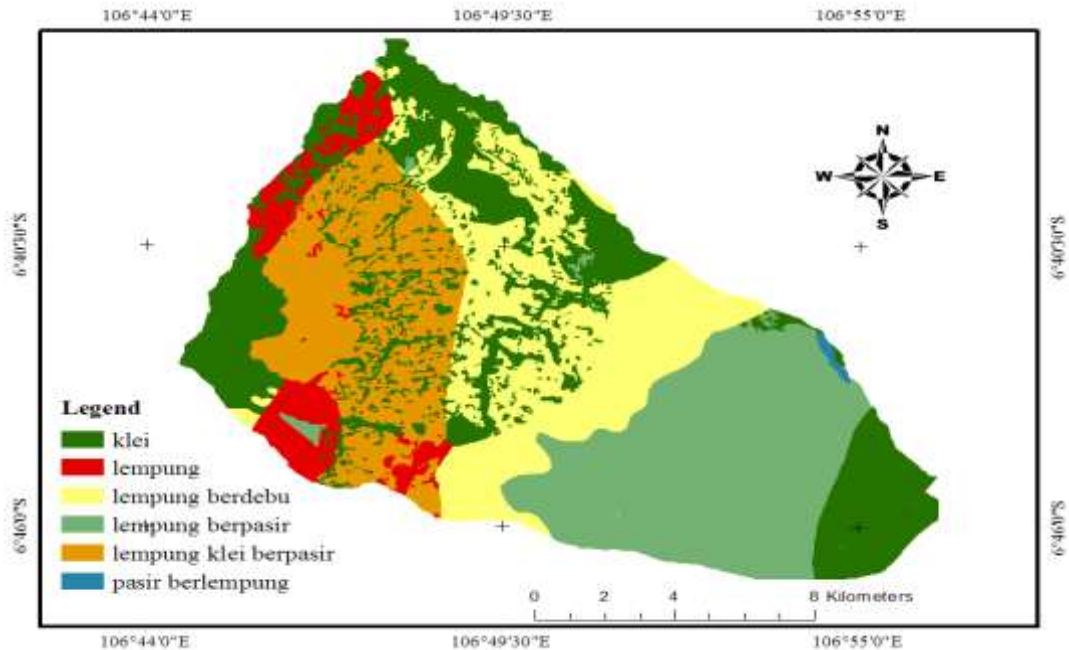
Lahan terbangun meliputi daerah industri, pemukiman, dan badan jalan
- 4

Sawah dikategorikan dalam sebagai sawah irigasi dengan kontur dan teras yang memiliki kondisi baik
- 5

Tegalan/leguminosa tanpa menerapkan teknik konservasi tanah yang ditanam rapat menurut kontur dengan kondisi baik
- 6

Lahan kosong dengan kondisi sedang (*fair*)
- 7

Kebun campuran merupakan hamparan lahan yang didominasi tanaman perkebunan yang berupa pohon, seperti karet, pinus, dan jabon.
- Jenis tutupan lahan menentukan besarnya curah hujan efektif yang terbentuk di wilayah aliran sungai. DAS Cisadane Hulu didominasi oleh tutupan hutan dengan persentase sekitar 32% tersaji pada Tabel 1. Lahan dengan tutupan hutan memiliki kemampuan infiltrasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan tutupan lahan lain.



Gambar 5 Peta tekstur tanah DAS Cisadane Hulu

Tabel 1 Klasifikasi *Hydrology Soil Group*

HSG	Tekstur Tanah	Laju Infiltrasi (mm/jam)
A	Pasir Berlempung	203.2 – 304.8
	Lempung Berpasir	
B	Lempung	101.6 – 203.2
	Lempung Berdebu	
C	Lempung Klei Berpasir	25.4 – 101.6
D	Klei	0.0 – 25.4

Sumber: Brakensiek dan Rawls 1983 dalam USDA 1986

Tabel 2 Tutupan lahan DAS Cisadane Hulu tahun 2010

Kelas Tutupan Lahan	Luas	
	Ha	%
Badan air	671.2	2.8
Hutan	7 696.3	32.3
Lahan Terbangun	2 568.5	10.8
Sawah irigasi	4 976.4	20.9
Tegalan	4 415.6	18.5
Lahan Kosong	554.3	2.3
Kebun Campuran	2 942.9	12.4
Luas Total	23 825.1	100.0

Impervious Area

Impervious area atau wilayah kedap air merupakan wilayah dimana air yang jatuh di suatu wilayah tidak mampu diserap oleh tanah sehingga mengalir menjadi limpasan permukaan. *Impervious area* meliputi bangunan maupun jalanan aspal. Berdasarkan hasil perhitungan nilai *impervious*, nilai *impervious* komposit DAS Cisadane Hulu sebesar 19%. Hal ini menunjukkan bahwa dari total luas wilayah DAS Cisadane Hulu, seluas 4655 Ha merupakan wilayah yang kedap air.

Perhitungan Parameter Curah Hujan Efektif

Perhitungan curah hujan efektif didekati dengan parameter infiltrasi. Pada penelitian ini digunakan metode *Initial and Constant Rate Loss Method*, SCS CN, dan *Green and Ampt Loss Method*.

1) Initial and Constant Rate Loss Method

Metode *Initial and Constant Rate Loss Method* merupakan metode paling sederhana yang digunakan untuk menghitung besarnya curah hujan efektif. Perhitungan besarnya curah hujan yang terinfiltrasi menggunakan metode *Initial and Constant Rate Loss Method* membutuhkan *input* parameter laju infiltrasi dan *initial abstraction* (*I_a*). Laju infiltrasi ini bergantung pada tekstur tanah yang telah terklasifikasi berdasarkan HSG sedangkan parameter *initial abstraction* dihitung berdasarkan kondisi fisik awal tanah. Jika tanah dalam kondisi jenuh, nilai *I_a* atau *Initial Abstraction* sama dengan nol. Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 3, besarnya laju infiltrasi berkisar antara 14.7 mm/jam hingga 199.2 mm/jam dengan laju infiltrasi rata-rata di DAS Cisadane Hulu sekitar 126.2 mm/jam. Sedangkan nilai *initial abstraction* atau *I_a*, berkisar antara 10.5 mm hingga 130.9 mm.

SCS-CN

Metode SCS-CN telah banyak digunakan dalam penentuan curah hujan efektif khususnya

di wilayah Indonesia. Perhitungan SCS-CN memerlukan *input* nilai *curve number* yang dihitung berdasarkan tutupan lahan dan klasifikasi tekstur tanah berdasarkan *Hydrology Soil Group*. Selain itu, *input* lain yang dibutuhkan adalah nilai *initial abstraction* yang diasumsikan sebesar 0.2 dari potensial retensi maksimum (*S*) (USACE, 2000).

Nilai CN dan *initial abstraction* dihitung berdasarkan bobot luas masing-masing sub DAS. Nilai CN pada DAS Cisadane Hulu terhitung berada diantara 48 hingga 83 dengan keragaman yang cukup tinggi. Nilai CN yang tinggi menunjukkan penyerapan yang rendah.

Green and Ampt Loss Method

Green and Ampt merupakan metode konseptual untuk menghitung besarnya *precipitation loss* pada periode waktu tertentu. Data tekstur tanah diturunkan menjadi parameter *input* yang meliputi *initial content*, *saturated content*, *suction* dan *conductivity*. Parameter *Initial content* merupakan nilai kelembaban awal tanah dan tanah akan jenuh ketika mencapai nilai *saturated content*. Besarnya nilai *Initial content* dan *saturated content* rata-rata untuk DAS Cisadane Hulu berturut-turut 0.2 mm dan 0.4 mm. Sedangkan *suction* dan *conductivity* adalah 213.4 dan 4.3.

Parameter Transform model, Baseflow model, dan Routing model

Komponen lain dalam pemodelan *rainfall-runoff* menggunakan model HEC-HMS diantaranya yaitu model *transform*, *baseflow*, dan *routing*. Komponen *transform* memperhitungkan besarnya volume limpasan yang disimulasikan model. Model *transform* yang digunakan dalam penelitian ini adalah model *Soil Conservation Service*. Model ini telah banyak digunakan untuk mensimulasikan kejadian hujan hingga menjadi limpasan khususnya di DAS Cisadane Hulu

(Emilda, 2010; Nilda, 2014). Parameter yang diperlukan dalam metode ini adalah *time lag* yang menggambarkan selang waktu antara hujan dimulai hingga debit puncak terbentuk (USACE, 2000). Parameter SCS dihitung berdasarkan karakter fisik dari DAS Cisadane Hulu seperti panjang sungai utama (km), kemiringan sungai (%), dan retensi potensial. Besarnya *time lag* yang telah dihitung pada masing-masing sub DAS, nilainya berkisar antara 30.4 hingga 499.7 menit. Perbedaan nilai *time lag* ini disebabkan karena panjang sungai di masing-masing sub DAS sangat bervariasi.

Metode *baseflow* yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *Recession*. Parameter *Recession* dihitung berdasarkan debit observasi. Metode ini membutuhkan *input* parameter *initial discharge* atau nilai debit awal ketika dimulainya hidrograf, konstanta resesi (k), dan *ratio to peak* yang merupakan perbandingan debit menurun dan mulai konstan terhadap debit puncak.

Komponen *routing* disimulasikan berdasarkan metode *Kinematic Wave* dengan parameter *input* kondisi fisik sungai dan konstanta Manning's.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Emilda (2010), konstanta Manning's untuk DAS Cisadane Hulu sebesar 0.045, lebar sisi bawah sungai berkisar antara 1.5 hingga 12 meter, sedangkan *side slope* sungai antara 0.5 hingga 2 /mm.

Analisis Sensitivitas

Analisis sensitivitas dilakukan untuk mengetahui parameter yang sensitif pada masing-masing model dan pengaruhnya terhadap volume dan debit puncak yang dihasilkan dari simulasi. Analisis ini dilakukan dengan cara mengubah menaikkan atau menurunkan nilai salah satu parameter *input* dan diasumsikan parameter lain tetap. Analisis dilakukan pada masing-masing model secara terpisah.

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan parameter sensitif pada metode *Green and Ampt* yaitu parameter *conductivity*, sedangkan untuk metode SCS-CN dan *Initial and Constant Rate Loss Method* adalah *initial abstraction*. Parameter yang sensitif kemudian dilakukan *trial error* sehingga memperoleh parameter yang sesuai. Hasil *trial error* dituliskan dalam Tabel 3.

Tabel 3 Parameter *input* masing-masing metode curah hujan efektif

Sub DAS	<i>Initial and Constant</i>	<i>SCS-CN</i>			<i>Green and Ampt Loss</i>				
	<i>Loss rate (m/detik)</i>	<i>Ia (mm)</i>	<i>Ia¹ (mm)</i>	<i>CN</i>	<i>Initial Content (mm)</i>	<i>saturated Content (mm)</i>	<i>suction</i>	<i>Conduc- tivity</i>	<i>Conduc- tivity²</i>
W220	16.3	11.7	11.7	81	0.3	0.5	313.2	0.5	2.9
W230	69.9	15.6	118.9	77	0.3	0.4	227.1	1.9	6.8
W240	14.7	10.5	10.5	83	0.3	0.5	314.2	0.4	0.9
W250	78.2	16.2	15.6	77	0.3	0.5	247.1	3.2	2.4
W280	48.2	13.5	69.9	79	0.1	0.4	251.3	1.2	0.5
W290	59.1	14.0	14	79	0.3	0.5	246.9	1.9	7.3
W300	108.4	21.2	49.3	73	0.3	0.3	208.9	4.3	2.8
W310	106.3	18.7	65.1	75	0.3	0.5	216.2	4.5	6.3
W320	147.1	38.4	130.9	64	0.1	0.5	189.6	6.5	7.9
W330	52.4	14.4	49.7	78	0.3	0.4	244.6	1.3	3.2
W350	197.9	61.5	94.2	53	0.2	0.5	152.6	8.5	13.0
W370	199.2	46.6	47.5	58	0.3	0.5	142.4	8.5	5.8
W380	181.3	64.8	67.3	53	0.2	0.5	168.7	7.7	7.6
W390	80.5	16.5	17.2	76	0.3	0.5	209.4	2.2	5.0
W400	175.9	64.5	67	53	0.3	0.5	173.4	7.5	6.7
W410	211.2	75.5	75.5	48	0.3	0.5	142.4	9	8.6
W420	109.1	19.6	30.5	73	0.3	0.5	186.5	3.4	3.4

1, 2 Parameter setelah kalibrasi

Hidrograf Aliran

Curah hujan efektif yang dihitung berdasarkan ketiga metode yang telah disebutkan sebelumnya kemudian diturunkan menjadi hidrograf aliran yang ditampilkan pada **Error! Reference source not found..** Berdasarkan hasil simulasi, ketiga model memberikan perbedaan hasil yang tidak jauh berbeda. Hidrograf dengan metode *Green and Ampt Loss* rata-rata memberikan hasil rata-rata *peak discharge* yang lebih tinggi dibanding dua model lainnya, begitu pun dengan volume limpasan yang dihasilkan dengan simulasi menggunakan metode *Green and Ampt Loss Method*.

Hal ini sejalan dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Viji et al. (2015) mengenai penggunaan metode *Green and Ampt*. Menurut Viji et al. (2015), perbedaan ini disebabkan karena adanya perbedaan pada tingkat heterogenitas tanah. Perhitungan curah hujan efektif dihitung dengan menggunakan metode SCS-CN dan *Initial and Constant Rate Loss* hanya menggunakan klasifikasi hidrologis tanah, tanpa memperhitungkan heterogenitas karakteristik tanah pada masing-masing *soil grup*.

Kalibrasi Model

Kalibrasi model dilakukan untuk mendapatkan model yang mendekati kondisi lapangan. Kalibrasi dilakukan dengan *trial error* parameter sensitif yang dilakukan pada *software* HEC-HMS. *Trial error* ini menghasilkan parameter optimum yang kemudian dijadikan sebagai *input* model. Hasil kalibrasi berupa debit puncak dan volume limpasan ini diuji dengan menggunakan model koefisien Nash-Sutcliffe (EF) dan *Root Mean Square Error* (RMSE). Hasil uji model DAS Cisadane Hulu disajikan dalam Tabel 2.

Uji telah dilakukan pada masing-masing hidrograf simulasi dengan menggunakan tiga metode *loss* yaitu *Initial and Constant Rate Loss*, SCS-CN, dan *Green and Ampt*. Simulasi dengan metode *Green and Ampt* memberikan hasil yang paling optimum untuk wilayah DAS Cisadane

Hulu. Metode *Green and Ampt* merupakan metode yang digunakan untuk mensimulasi kehilangan air pada wilayah dengan kondisi kelembaban tanah sangat basah atau kering (Barry et al. 2005). Cisadane Hulu terletak di wilayah Bogor yang memiliki curah hujan yang tinggi dengan durasi hujan yang hampir terjadi sepanjang tahun. Hal ini menyebabkan kondisi tanah di wilayah ini cukup basah.

Hasil yang sama diperoleh dari penelitian Sardoi et al. (2012) mengenai kalibrasi metode pendugaan nilai *precipitation loss* menggunakan program HEC-HMS. Jika dianalisis lebih lanjut kedua DAS memiliki bentuk fisik yang hampir sama yaitu semiradial, selain itu kedua DAS didominasi dengan topografi pegunungan (**Error! Reference source not found.5**). Topografi pegunungan memiliki variasi *slope* yang cukup besar, hal ini mempengaruhi besarnya jumlah air yang terinfiltrasi ke dalam tanah.

KESIMPULAN

Penentuan curah hujan efektif di wilayah DAS Cisadane Hulu telah dilakukan dengan metode *Initial and Constant Rate Loss Method*, SCS-CN, dan *Green and Ampt Loss Method*. Uji sensitivitas dilakukan pada masing-masing model secara terpisah. Hasil analisis sensitivitas menunjukkan bahwa pada metode SCS-CN dan *Initial and Constant Rate Loss Method* parameter yang paling sensitif adalah *initial abstraction* sedangkan pada metode *Green and Ampt* parameter yang paling sensitif adalah *conductivity*. Berdasarkan *Nash-Sutcliffe Efficiency* (EF) dan uji RMSE pada tiga kejadian debit puncak, *Green and Ampt method* menunjukkan hasil yang paling optimum dengan nilai EF dan RMSE sebesar 0.764 dan 5.93 m³/s

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, kondisi fisik DAS seperti bentuk dan topografi wilayah merupakan faktor dominan untuk metode *Green and Ampt* yang dapat digunakan sebagai salah satu dasar penentuan metode pendugaan curah hujan efektif.

Tabel 4 Nilai EF dan RMSE hasil pengujian hidrograf simulasi dengan metode *loss* yang berbeda

Model	Debit Puncak (m ³ /s)	Volume limpasan (mm)	EF	RMSE
SCS CN	66.0	138.2	0.585	7.0
<i>Green and Ampt</i>	73.4	142.7	0.764	5.9
<i>Initial and Constant rate loss</i>	60.4	132.0	0.580	7.4

Tabel 5 Perbandingan kondisi DAS Cisadane Hulu dengan beberapa penelitian terkait

Peneliti	DAS	Karakteristik Iklim	Karakteristik Fisik DAS	Loss method yang optimal
Abood <i>et al.</i> (2012)	Kenyir	- Iklim : Tropis - CH : 2911 mm /tahun	- Luas : 2600 km ² - <i>Altitude</i> : 4368 -1863 m	SCS-CN
Saleh <i>et al.</i> (2011)	Kan	- Iklim : <i>cold</i> and semi-arid - CH : 625 mm /tahun	- Luas : 197 km ² - <i>Altitude</i> : 2428 m - <i>Slope</i> : 43.4 % - Topografi: didominasi pegunungan	<i>Initial and Constant Rate Loss</i>
Sardoi <i>et al.</i> (2012)	Amirkabir	- Iklim : cold and semi-arid - CH : 214-1170 mm /tahun	- Bentuk : Semiradial - Luas : 778 km ² - <i>Altitude</i> : 4368 -1863 m - <i>Slope</i> : 43.8 % - Topografi: didominasi pegunungan	<i>Green and Ampt</i>
Zema <i>et al.</i> (2016)	Mésima torrent	- Iklim : semi-arid - CH : 900 mm /tahun	- Bentuk : Elipsoidal - Luas : 795 km ² - <i>Altitude</i> : 395 m - <i>Slope</i> : 28.6% - Didominasi oleh tutupan lahan pertanian dan hutan	SCS-CN
Delani (2016)	Cisadane Hulu	- Iklim : Tropis - CH : 3919 mm /tahun	- Bentuk : Semiradial - Luas : 238 km ² - <i>Altitude</i> : 4368 -1863 m - <i>Slope</i> : 11-42 % - Topografi: didominasi pegunungan.	<i>Green and Ampt</i>

DAFTAR PUSTAKA

- Abood MM, Mohammed TA, Ghazali AH, Mahmud AR, Sidek LM. 2012. Impact of infiltration methods on the accuracy of rainfall-runoff Simulation. *Res J Appl Sci Eng Technol* 4(12): 1708-1713.
- Asdak Chay. 2014. Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai. Yogyakarta (ID): Gajah Mada University Press.
- Bo XIAO, Qing-Hai WANG, Jun FAN, Feng-Peng HAN, Quan-Hou DAI. 2011. Application of the SCS-CN model to runoff estimation in a small watershed with high spatial heterogeneity. *Pedosphere* 21(6): 738–749.
- Chu X, ASCE A M dan Steinman A. 2009. Event and continuous hydrologic modeling with HEC-HMS. *J Irrigation and Drainage Engineering* 135 (1) : 119-124.
- Emilda A. 2010. Dampak perubahan penggunaan lahan terhadap respon hidrologi DAS Cisadane Hulu [thesis]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Kandey DS, Hendratta LA dan Sumarauw JSF. 2015. Optimalisasi pemanfaatan Sungai Polimaan untuk pemenuhan kebutuhan air irigasi. *J Tekno* 13 (64) : 10-18.
- Maca P. 2003. Movement of rainfall events in Prague Area. *J Hydrol Hydromech.* 51(2):144–149.
- Nash JE, Sutcliffe JV. 1970. River flow forecasting through conceptual models. Part I—A discussion of principles. *J Hydrol* 10(3): 282–290.
- Nilda. 2014. Analisis perubahan penggunaan lahan dan dampaknya terhadap hasil air di daerah aliran sungai Cisadane Hulu [thesis]. Denpasar (ID): Universitas Udayana.
- Petra KC. 2011. Hydrology and Water Resources Engineering. Oxford (UK): Alpha Science International Ltd.
- Rawls WJ, Shalaby A, McCuen RH. 1981. Evaluation of methods for determining urban runoff curve

- numbers. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers. 24 (6):1562-1566.
- Risyanto. 2007. Aplikasi HEC-HMS untuk perkiraan hidrograf aliran di DAS Ciliwung bagian hulu [skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Saleh A, Ghobad R dan Noredin R. 2011. Evaluation of HEC-HMS methods in surface runoff simulation (Case study: Kan watershed, Iran). Adv Environ Biol. 5(6): 1316-1321.
- Sardoi ER, Noredin R, Shahram KS dan Somaieh T. 2012. Calibration of loss estimation methods in HEC-HMS for simulation of surface runoff (Case Study: Amirkabir Dam Watershed, Iran). Adv Environ Biol. 6(1): 343-348.
- Setiopotro S. 2016. Identifikasi kualitas Sub Das Cisadane Hulu dengan parameter perubahan tutupan lahan dan debit air [skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Šraj M, Dirnbek L dan Brilly M. 2010. The influence of effective rainfall on modeled runoff hydrograph. J Hydrol Hydromech. 58(1): 3–14.
- Shaw EM, Beven KJ, Chappell NA dan Lamb R. 2011. Hydrology in Practice. New York (US): Spon Press.
- Viessman W. 1977. Introduction to Hydrology: 3rd edition. New York (US): Harper & Row.
- Viji1 R, Ilangovan R dan Prasanna PR. 2015. Green-Ampt runoff model for the ungauged Kundahpallam Watershed, Nilgiris, Western Ghats of India. International Journal of Applied Engineering Research. 10 (51).
- Zema DA, Antonino L, Domenico M dan Santo MZ. 2016. Comparing different infiltration methods of the HEC-HMS model: The case study of the Mésima Torrent (Southern Italy). Land Degrad Develop.
- [USACE] US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center. 1994. Engineering and Design Flood-Runoff Analysis: Engineer Manual, 1110-2-1417 [internet]. [diunduh 2 Februari 2016]. Tersedia pada:
<http://www.hec.usace.army.mil/software/hech-hms>.
- [USACE] US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center. 2000. HEC-HMS Hydrologic Modelling System: User's Manual, Version 4.0. [internet]. [diunduh 2 Februari 2016]. Tersedia pada:
<http://www.hec.usace.army.mil/software/hech-hms>.
- [USDA SCS] USDA-Soil Conservation Service. 1985. National Engineering Handbook. Section 4. Washington D C (US): Natural Resources Conservation Services.
- [USDA SCS] USDA-Soil Conservation Service. 1986. Urban Hydrology for Small Watershed. Washington D C (US): Natural Resources Conservation Services.