

ANALISIS POTENSI RESAPAN DI DAERAH ALIRAN SUNGAI CISADANE HULU

(Analysis of Recharge Potention in Upper Cisadane Watershed)

Radius Pranoto¹, Satyanto Krido Saptomo², Roh Santoso B. Waspodo³

^{1,2,3} Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor.
Jl. Raya Dramaga, Kampus IPB Dramaga, PO BOX 220, Bogor, Jawa Barat Indonesia

Penulis Korespondensi : Radius Pranoto. Email: radiuspranoto@gmail.com

Diterima: 25 Desember 2015

Disetujui: 4 Juli 2016

ABSTRACT

Human disturbance such as land use changes, urbanization, and deforestation degrade Upper Cisadane Watershed. It also causes degradation of recharge area, decrease infiltration and increase runoff. The aims of this research were to (1) identify the criticality of recharge area; and (2) analyze the potential of water recharge in Upper Cisadane Watershed. The criticality of recharge area had been identified refers to regulation of the Minister of Forestry, Republic of Indonesia Number: P.32/MENHUT-II/2009 by scoring and overlaying of slope, soil type, rainfall, and land use map. The amount of water recharge potential was predicted by the equation issued by IWACO and WASECO (1990). The result showed that distribution of criticality of recharge area in Upper Cisadane Watershed in 2006, 2009, and 2013 were: (1) good: 24.7%, 24.7%, 23.6%; normal: 6.9%, 6.2%, 3.7%; (3) ranging critical: 17.9%, 17.8%, 19.4%, (4) rather critical: 25.0%, 24.9%, 30.7%; (5) critical: 23.9%, 24.5%, 22.0%; and (6) very critical: 1.9%, 2.0%, 0.7% respectively. The magnitude of the potential of water recharge on average in the recharge area was in good condition; $154.5 \times 10^6 \text{ m}^3$, normal; $33.9 \times 10^6 \text{ m}^3$, ranging critical; $94.6 \times 10^6 \text{ m}^3$, rather critical; $130.9 \times 10^6 \text{ m}^3$, critical; $98.2 \times 10^6 \text{ m}^3$, very critical; $6.2 \times 10^6 \text{ m}^3$. Upper Cisadane Watershed has a potential of annual water recharge was 511.7×10^6 to $569.2 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$ or around 14% - 15.6% of total rainfall, with an average change in the potential of water recharge from the simulation based on the condition of recharge area in 2006-2009 decreased -0.04%, in 2009-2013 decreased -3.2% and in 2006-2013 decreased -3.3%.

Keywords: recharge area, infiltration, runoff, criticality.

PENDAHULUAN

Meningkatnya laju pertumbuhan penduduk dan urbanisasi yang diikuti dengan perubahan fungsi tata guna lahan merupakan faktor utama terjadinya degradasi lahan (Ouédraogo *et al.* 2010). Hal ini melatarbelakangi penyusutan lahan hutan dan vegetasi alam sebagai daerah resapan air (*recharge area*) sehingga berpengaruh terhadap siklus hidrologi dalam suatu daerah aliran sungai (Schulze 2000). Proses degradasi berjalan secara perlahan dan kumulatif tetapi memiliki dampak buruk jangka panjang terhadap lingkungan. Salah satu dampak yang dapat kita lihat adalah terjadinya peningkatan

limpasan permukaan dan menurunnya laju infiltrasi air hujan (Muchena 2008).

Daerah aliran sungai Cisadane adalah salah satu DAS prioritas yang termasuk ke dalam wilayah kerja konservasi tanah dalam rangka pembangunan jangka menengah (Kementerian Kehutanan 2009). Penetapan DAS prioritas tersebut didasarkan pada; (1) daerah hidrologis kritis yang ditandai dengan besarnya angka perbandingan antara debit maksimum (musim hujan) dengan debit minimum (musim kemarau) serta adanya kandungan sedimen yang berlebihan, (2) daerah yang telah, sedang, atau akan dibangun bangunan vital seperti waduk, bendungan, dan bangunan

pengairan lainnya, (3) daerah yang rawan terhadap banjir dan kekeringan, (4) daerah ladang berpindah, (5) daerah yang kesadaran konservasi tanahnya masih rendah, dan (6) daerah yang kepadatan penduduknya tinggi (Arsyad 2006).

Nilda *et al.* (2015) mengemukakan bahwa telah terjadi peningkatan debit puncak di DAS Cisadane Hulu pada tahun 2003 sebesar 81.22 m³/detik menjadi 81.73 m³/detik pada tahun 2010. Naiknya debit puncak ini disebabkan lebih banyaknya limpasan permukaan akibat perkembangan pemukiman di wilayah DAS. Hal ini terlihat dengan meningkatnya nilai CN rata-rata DAS Cisadane Hulu, dari 38.5 menjadi 39.4. Nilai CN adalah faktor yang mempengaruhi besarnya laju limpasan permukaan (Bonta 1997), CN yang besar menunjukkan limpasan permukaan tinggi dan laju infiltrasi rendah, sedangkan nilai CN yang kecil menunjukkan limpasan permukaan rendah dan laju infiltrasi tinggi (Zhan and Huang 2004; Viji *et al.* 2015).

Pada dasarnya limpasan permukaan dikendalikan oleh besarnya laju infiltrasi (resapan) yang memiliki korelasi dengan tutupan vegetasi, topografi dan jenis tanah (Dong *et al.* 2015). Menurut Kementerian Kehutanan (2008) pengurangan kawasan resapan air sebagai dampak perubahan fungsi lahan yang terjadi di DAS Cisadane Hulu dapat menimbulkan dampak di bagian Sub DAS Cisadane lainnya baik bagian tengah ataupun bagian hilir. Dengan semakin berkurangnya lahan hijau sebagai daerah resapan air, maka akan terjadi peningkatan jumlah air yang tidak terserap dan mengalir di permukaan. Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengidentifikasi kondisi kekritisitas daerah resapan dan memprediksi besarnya potensi resapan air DAS Cisadane Hulu.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di wilayah DAS Cisadane Hulu, Provinsi Jawa Barat dari bulan April - Desember 2015.

Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah seperangkat personal komputer yang dilengkapi dengan MS.Office 2010, program aplikasi Sistem Informasi Geografis (SIG) ArcGIS 10.0 dan Corel Draw.

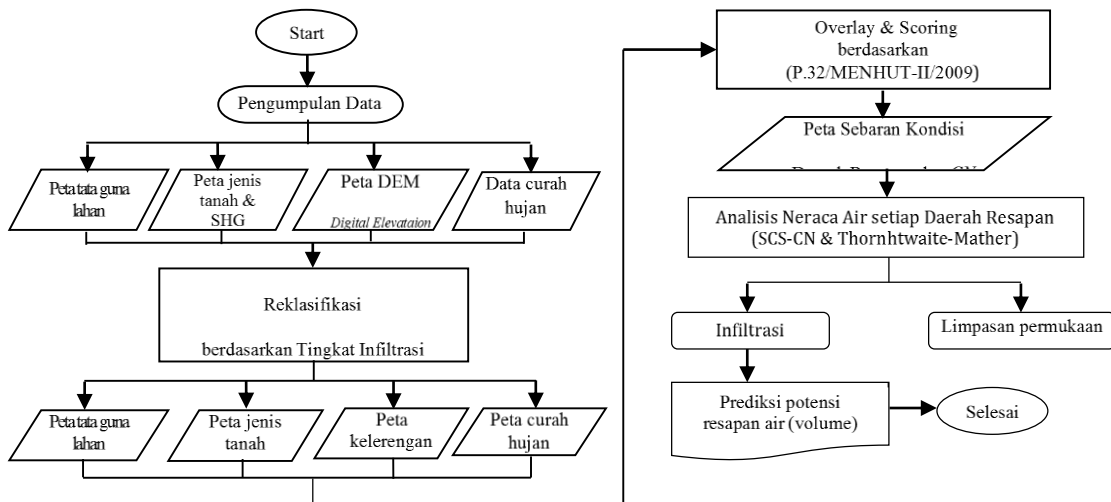
Bahan yang digunakan adalah peta batas DAS Cisadane Hulu, peta tata guna lahan (tahun 2006, 2009 dan 2013), peta kelerengan lahan, peta jenis tanah atau peta kelompok hidrologi tanah, data curah hujan harian (2004-2014), titik koordinat stasiun pengukuran Hujan (SPH), DEM (*Digital Elevation Map*), dan peta RBI (Rupa Bumi Indonesia).

Prosedur Penelitian dan Analisis Data

Prosedur analisis data dalam penelitian ini terdiri dari tiga tahapan, yaitu; (1).identifikasi kondisi kekritisitas daerah resapan (tingkat kekritisitas) berdasarkan metode Menteri Kehutanan (P.32/MENHUT-II/2009) tentang Tata Cara Penyusunan Rencana Teknik Rehabilitasi Hutan dan Lahan Daerah Aliran Sungai (RTKRHL-DAS), (2).analisis limpasan permukaan dan laju infiltrasi dengan metode SCS-CN, dan (3).prediksi potensi laju resapan DAS Cisadane Hulu. Diagram alir tahapan penelitian dan analisis data dapat dilihat pada Gambar 1.

Klasifikasi Bentuk Penggunaan Lahan

Menurut BPDAS Ciliwung-Citarum 2013, ada 10 bentuk penggunaan lahan di DAS Cisadane Hulu, yaitu; bandar udara, hutan lahan kering primer, hutan lahan kering sekunder, ladang (hortikultura),



Gambar 1. Diagram alir model analisis potensi resapan

lahan terbuka, perkebunan, permukiman, sawah, semak-belukar dan tubuh air.

Menurut UU No. 41 Tahun 1999 tentang Kehutanan pasal 18, disebutkan bahwa pemerintah menetapkan dan mempertahankan kecukupan luas kawasan hutan dan penutupan hutan untuk setiap daerah aliran sungai (DAS) dan atau pulau guna optimalisasi manfaat lingkungan, manfaat sosial, dan manfaat ekonomi masyarakat setempat. Luas kawasan hutan yang harus dipertahankan minimal 30 % dari luas daerah aliran sungai atau pulau dengan sebaran proporsional. Mengacu pada ketentuan tersebut, DAS Cisadane Hulu belum memenuhi ketentuan tersebut, dimana luas hutan hanya 14296 ha atau kurang dari 17 % dari total luas DAS-nya, sedangkan sebagian besar lahan DAS didominasi oleh ladang, sawah, perkebunan, permukiman dan sisanya berupa semak belukar, tubuh air, lahan terbuka dan bandar udara. Gambar 2 menunjukkan sebaran keruangan bentuk penggunaan lahan DAS Cisadane Hulu pada tahun 2006, 2009 dan 2013.

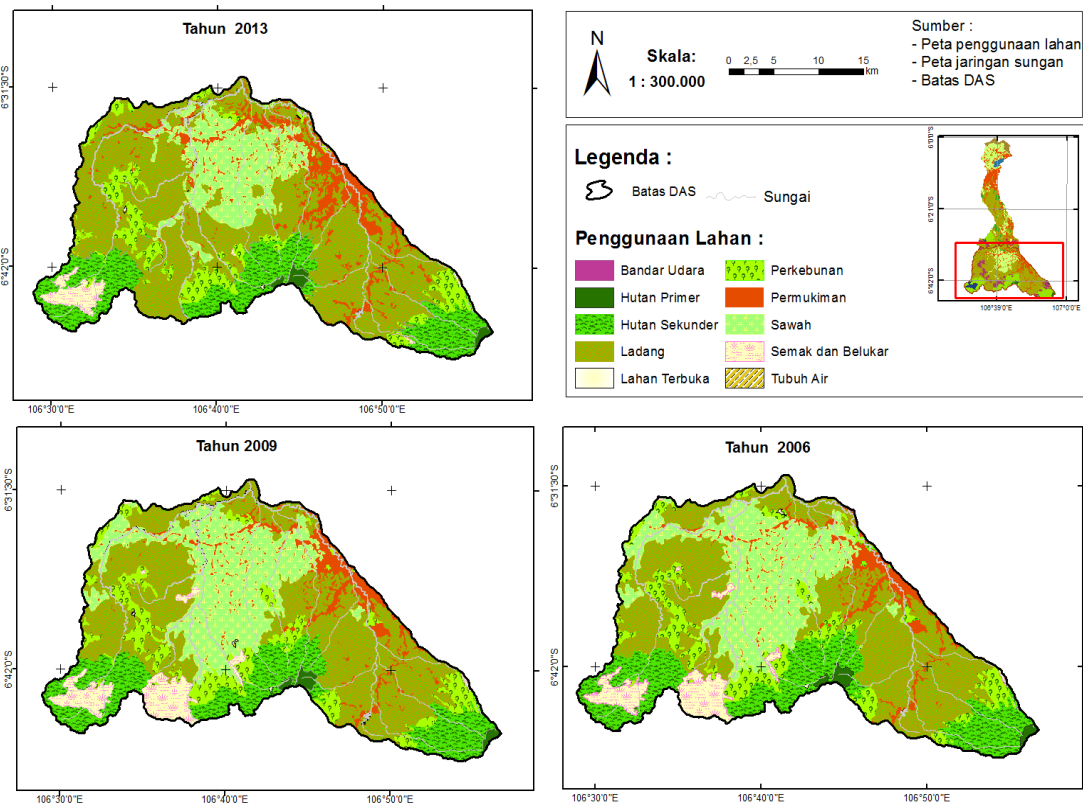
Ladang adalah vegetasi yang mendominasi bentuk penggunaan lahan di DAS Cisadane Hulu dalam rentang waktu tahun 2006, 2009 dan 2013 dengan persentase luas lebih dari 37%. Sawah dan hutan sekunder masing-masing menempati luasan lebih dari 16.5%.

Perkebunan memiliki luasan lebih dari 8%, kawasan permukiman berada pada luasan lebih dari 6.5% dan semak belukar lebih dari 1%. Sisanya adalah hutan primer, lahan terbuka, tubuh air dan bandar udara masing-masing memiliki luas tidak lebih dari 1%. Perbandingan luas masing-masing penggunaan lahan DAS Cisadane Hulu ditunjukkan pada Tabel 1.

Jika diklasifikasikan berdasarkan kemampuan resapan atau tingkat infiltrasi aktualnya, maka DAS Cisadane Hulu didominasi oleh tutupan lahan dengan potensi resapan (infiltrasi) dalam katagori kecil (dengan luas >37%) dan sangat kecil (dengan luas >21%) dari luas total DAS (Tabel 2)

Klasifikasi Kemiringan Lereng dan Jenis Tanah

Kelereng DAS Cisadane Hulu diklasifikasikan menjadi 5 kelas, yaitu; lereng datar (<8%) atau infiltrasi cepat, lereng landai (8-15%) atau infiltrasi agak cepat, lereng bergelombang (15-25%) atau infiltrasi sedang, lereng curam (25-40%)



Gambar 2. Peta bentuk penggunaan lahan di DAS Cisadane Hulu

atau infiltrasi agak lambat dan berlereng sangat curam (>40%) atau infiltrasi lambat. Kelerengan DAS adalah salah satu faktor langsung yang mempengaruhi infiltrasi air hujan (Magesh *et al.* 2012), semakin curam

kelerengan DAS maka semakin kecil infiltrasinya dan sebaliknya limpasan permukaannya semakin besar (Selvam *et al.* 2015). Sebaran kelas lereng DAS Cisadane Hulu disajikan pada Gambar 3a.

Tabel 1. Penggunaan lahan di DAS Cisadane Hulu

No	Penggunaan Lahan	Luas						Rata-rata
		2006		2009		2013		
		Ha	%	Ha	%	Ha	%	
1	Bandar udara	14.1	0.02	14.1	0.02	0.6	0	0.01
2	Hutan LK Primer	727.8	0.9	727.7	0.9	727.7	0.9	0.85
3	Hutan LK Sekunder	14296.0	16.8	14296.0	16.8	14114.2	16.6	16.70
4	Ladang	32058.6	37.6	31768.0	37.3	42884.2	50.3	41.72
5	Lahan terbuka	39.9	0.1	14.3	0.02	15.7	0.02	0.03
6	Permukiman	5803.6	6.8	6664.8	7.8	8123.6	9.5	8.05
7	Perkebunan	9889.1	11.6	9454.8	11.1	7191.5	8.4	10.37
8	Sawah	17908.6	21.0	17797.0	20.9	10242.6	12.0	17.96
9	Semak dan Belukar	4160.0	4.9	4160.4	4.9	1615.3	1.9	3.88
10	Tubuh Air	358.5	0.4	358.6	0.4	340.9	0.4	0.41
	Total	85256.2	100	85256.2	100	85256.2	100	

Sedangkan, menurut peta tanah tinjau DAS Cisadane Hulu skala 1 : 100000 di daerah penelitian terdapat 11 bahwa potensi resapan air dari curah hujan di DAS Cisadane Hulu tergolong sangat besar, yaitu 3647.8 mm/tahun.

Tabel 2. Tingkat infiltrasi aktual berdasarkan bentuk penggunaan lahan

No	Penggunaan Lahan	Kelas infiltrasi
1	Hutan lebat (hutan primer & hutan sekunder)	Sangat besar
2	Perkebunan	Besar
3	Semak dan belukar	Sedang
4	Ladang (hortikultura)	Kecil
5	Pemukiman, sawah, tubuh air, lahan terbangun, lahan terbuka	Sangat kecil

(Sumber: Hasil analisis 2015 dan P.32/MENHUT-II/2009)

satuan peta tanah (SPT) (BPDAS Ciliwung-Citarum 2013) dan terbagi ke dalam 4 kelompok hidrologi tanah (KHT) yang ditandai dengan dengan huruf A, B, C dan D (Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat Bogor 1992).

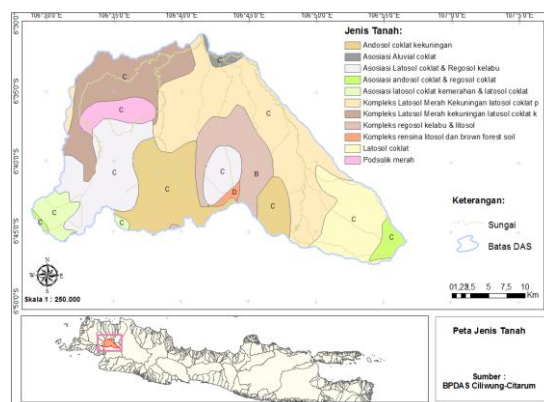
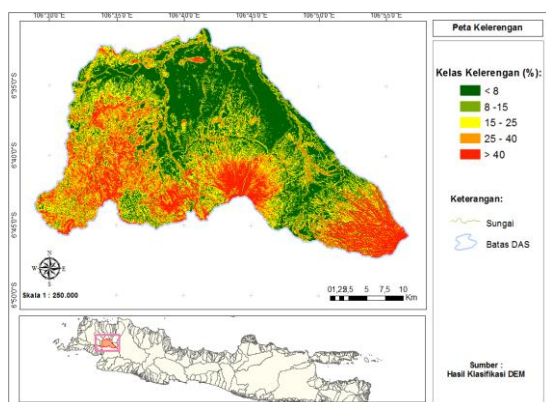
Tingkat infiltrasi potensial pada jenis tanah diklasifikasikan berdasarkan kelompok hidrologi tanah, yaitu; A (tingkat infiltrasi tinggi), B (tingkat infiltrasi sedang), C (tingkat infiltrasi rendah) dan D (tingkat infiltrasi sangat rendah). Sebaran jenis tanah dan kelompok hidrologinya tersebut disajikan pada Gambar 3b.

Klasifikasi Curah Hujan

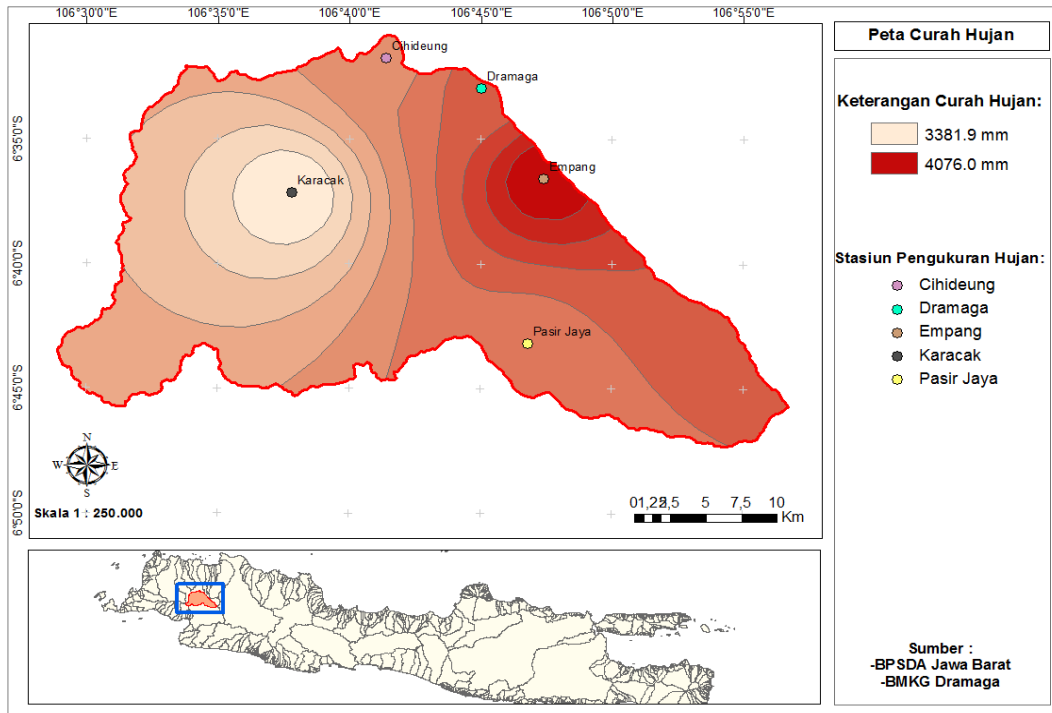
Berdasarkan klasifikasi menurut P.32/MENHUT-II/2009 menunjukkan

Klasifikasi curah hujan dilakukan berdasarkan besar potensinya sebagai input resapan, yaitu curah hujan; <2500 mm/tahun (potensi resapan sangat kecil); 2500-3500 mm/tahun (potensi resapan kecil); 3500-4500 mm/tahun (potensi resapan sedang); 4500-5500 mm/tahun (potensi resapan besar); dan >5500 mm/tahun (potensi resapan sangat besar).

Faktor pengaruh curah hujan dari setiap stasiun pengamatan hujan (SPH) tersebut dihitung dengan teknik interpolasi spasial-*inverse distance weighted* (IDW), sehingga deiperoleh sebaran keruangan curah hujan DAS Cisadane Hulu. Sebaran keruangan curah hujan di DAS Cisadane Hulu dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 3. (a) Peta kelas kemiringan lereng ; (b) Peta jenis tanah



Gambar 4. Sebaran curah hujan DAS Cisadane Hulu

Identifikasi Kekritisitas Daerah Resapan

Identifikasi kekritisitas resapan dilakukan dengan teknik tumpang susun (*overlay*) dan pembobotan (*scoring*) menggunakan aplikasi GIS (*Geographic Information System*). Teknik GIS memungkinkan untuk pemodelan hidrologi yang lebih akurat yaitu dengan kemampuannya mengakomodasi parameter-parameter hidrologi yang beragam (Melesse *et al.* 2003).

Peta kemiringan lereng, peta jenis tanah dan peta sebaran hujan dioverlay menjadi peta potensi infiltrasi. Kemudian diberi score sesuai dengan tingkat infiltrasinya, yaitu dengan score untuk notasi a = 5, b = 4, c = 3, d = 2 dan e = 1. Ketiga aspek ini memberikan indeks tingkat infiltrasi potensial yang alami. Bentuk penggunaan lahan merupakan aspek di bawah pengaruh kegiatan manusia, mempunyai implikasi yang berbeda terhadap infiltrasi (Vink 1975). Jika aspek alami mencerminkan kondisi potensial, maka aspek penggunaan lahan mencerminkan kondisi aktual.

Klasifikasi Kekritisitas Daerah Resapan

Setelah dilakukan overlay dan scoring terhadap komponen-komponen tersebut di atas, maka kondisi daerah resapan dapat diklasifikasi, yaitu dengan membandingkan antara nilai infiltrasi potensial dengan nilai infiltrasi aktualnya. Metode yang digunakan mengacu pada Peraturan Menteri Kehutanan No. P. 32/MENHUT-II/2009 dengan kriteria penentuan sebagai berikut:

- I. Kondisi Baik, yaitu jika nilai infiltrasi aktual lebih besar dibanding nilai infiltrasi potensial, misalnya dari e menjadi A, atau dari d menjadi B dan seterusnya.
- II. Kondisi Normal Alami, yaitu jika nilai infiltrasi aktual sama atau tetap seperti nilai infiltrasi potensialnya, misal dari b menjadi B, atau dari c menjadi C dan seterusnya.
- III. Kondisi Mulai Kritis, yaitu jika nilai infiltrasi aktual sudah turun setingkat dari nilai infiltrasi potensialnya, misalnya dari a menjadi B, atau dari c menjadi D dan seterusnya.

- IV. Kondisi Agak Kritis. yaitu jika nilai infiltrasi aktual sudah turun dua tingkat dari nilai infiltrasi potensialnya, misalnya dari a menjadi C, atau dari b menjadi D dan seterusnya.
- V. Kondisi Kritis, yaitu jika nilai infiltrasi aktual sudah turun tiga tingkat dari nilai infiltrasi potensialnya, misalnya dari a menjadi D, atau dari b menjadi E.
- VI. Kondisi sangat Kritis, yaitu jika nilai infiltrasi aktual berubah dari sangat besar menjadi sangat kecil, misalnya dari a menjadi E.

Cara identifikasi karakteristik hingga penentuan kelas kondisi daerah resapan ini selengkapnya ditunjukkan pada Gambar 5.

$$S = \frac{25400}{CN_p} - 254 \tag{2}$$

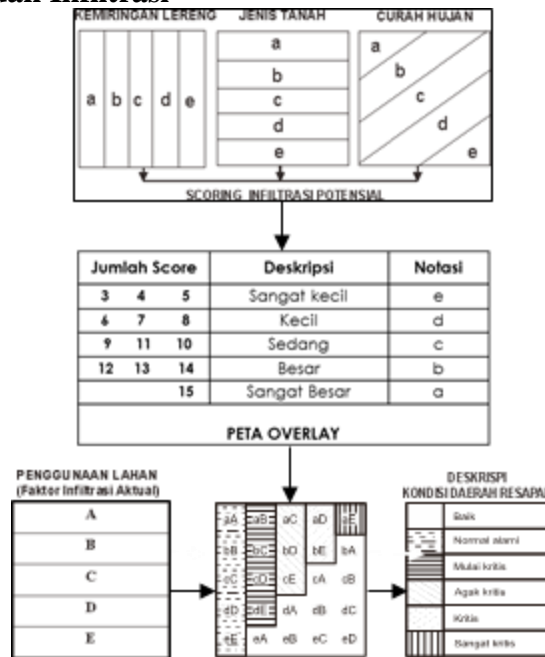
$$CN_p = \frac{\sum_i^n CN_i \times A_i}{\sum_i^n A_i} \tag{3}$$

$$I_a = 0.2 S \tag{4}$$

$$F = (P - I_a) - Q \tag{5}$$

Pada metode SCS-CN, limpasan permukaan (Q) dianggap nol apabila curah hujan (P) = 0.2S. S adalah perbedaan kondisi tanah dan tutupan lahan terhadap nilai *curve number* (CN) atau disebut retensi potensial air maksimum. *I_a* adalah fungsi penggunaan tanah, perlakuan dan kondisi hidrologi, serta kandungan air tanah sebelumnya. F adalah penambahan air ke dalam tanah yang nilainya akan

Analisis Limpasan dan Infiltrasi



Gambar 5. Garis besar pendekatan penyusunan model pengkajian daerah resapan

Limpasan permukaan (Q) dan infiltrasi (F) dihitung dengan metode *Soil Conservation-Service Curve Number* (SCS-CN) dengan persamaanya sebagai berikut (USDA 1986).

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{(P + 0.8S)} \tag{1}$$

selalu lebih kecil atau sama dengan retensi potensialnya dan dinamakan sebagai infiltrasi. CN_p merupakan bilangan kurva tertimbang yang nilainya bervariasi dari 0 – 100. Bila nilai $CN = 100$, maka nilai $S = 0$ dan $Q = P$. Nilai CN_p dihitung dari bobot CN rata-rata (Fan *et al.* 2013) dan berdasarkan pada kelompok hidrologi tanah (KHT), bentuk penggunaan lahan

dan kondisi hidrologi yang berpedoman pada tabel *CN* (Asdak 2002). CN_i merupakan nilai *CN* untuk penggunaan lahan 1, 2, 3.....n, A_i adalah luas untuk masing-masing penggunaan lahan.

Metode ini sudah digunakan oleh beberapa peneliti (Reshma *et.al* 2010; Luxon & Pius 2013) tidak hanya di Amerika Serikat tetapi juga di negara lain karena memberikan hasil yang valid dan konsisten (Kumar dan Rishi 2013).

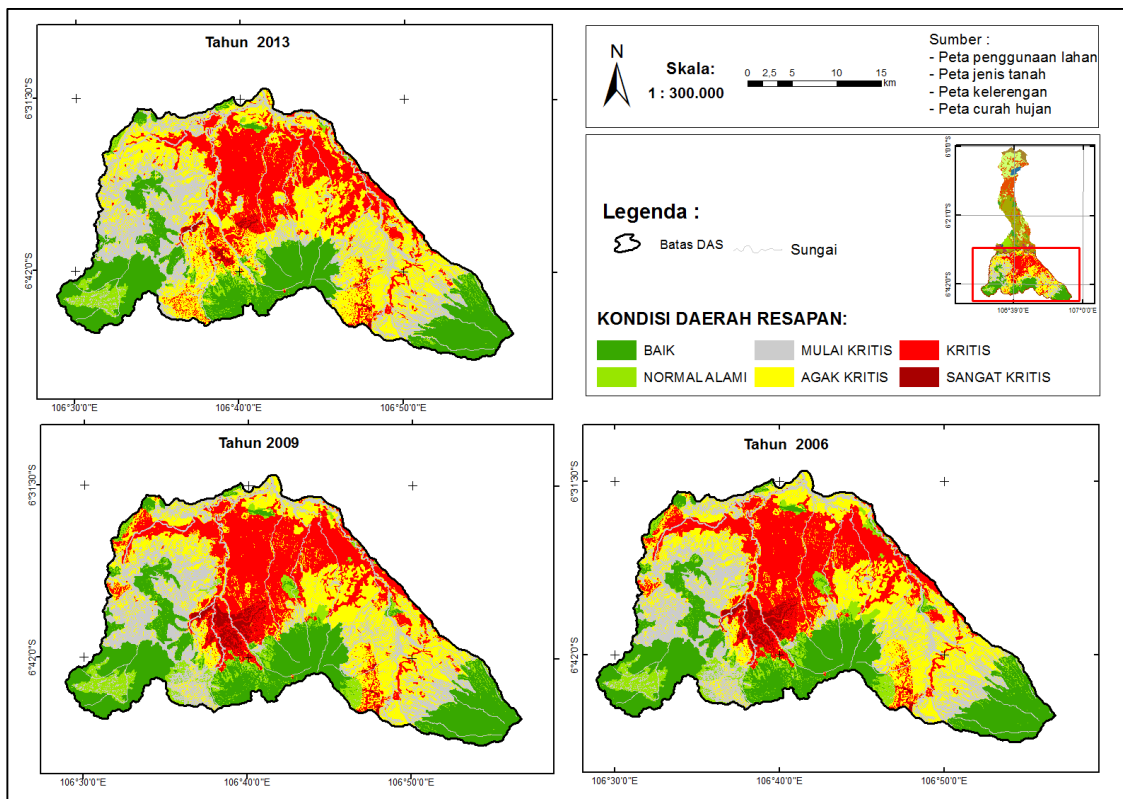
HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Kondisi Daerah Resapan

Klasifikasi dilakukan untuk mengetahui perubahan kondisi daerah resapan pada tahun 2006, 2009 dan 2013 berdasarkan metode Peraturan Menteri Kehutanan (No.P.32/ MENHUT-II/2009). Parameter yang menjadi faktor penentu kondisi kekritisan daerah resapan adalah faktor infiltrasi potensial dan faktor infiltrasi aktual.

Model pendekatan yang digunakan dalam penentuan daerah resapan dalam hal ini adalah setiap satuan wilayah di daerah aliran sungai (DAS) diasumsikan sebagai daerah resapan air hujan, namun memiliki kemampuan yang berbeda-beda dalam meresapkan (menginfiltrasikan) air karena adanya faktor tutupan lahan, kelerengan, jenis tanah dan curah hujan. Dari perbedaan tingkat infiltrasi karena pengaruh vegetasi, kelerengan, jenis tanah dan curah hujan inilah kondisi daerah resapan diklasifikasikan. Hasil klasifikasi diperoleh 6 (enam) kelas kondisi kekritisan daerah resapan di DAS Cisadane Hulu, yaitu: kondisi baik, normal alami, mulai kritis, agak kritis, kritis dan sangat kritis (Gambar 6).

DAS Cisadane Hulu dalam rentang waktu tahun 2006, 2009 dan 2013 didominasi oleh daerah resapan dengan kondisi agak kritis dengan luasan rata-rata sekitar 26.9 %, daerah resapan dengan kondisi baik menempati urutan



Gambar 6. Peta sebaran kekritisan daerah resapan DAS Cisadane Hulu kedua terluas dengan luas rata-rata

24.3%, daerah resapan dengan kondisi kritis menempati urutan ketiga terluas dengan luas rata-rata sekitar 23.5 %, urutan terluas keempat adalah daerah resapan dengan kondisi mulai kritis dengan luas rata-rata sekitar 18.4 %, di urutan kelima terluas adalah daerah resapan dengan kondisi normal alami dengan luas rata-rata sekitar 5.5 %, sedangkan daerah resapan sangat kritis menempati luasan terkecil dengan luas rata-rata sekitar 1.5 %. Secara umum sebaran kondisi daerah resapan antara tahun 2006 dan 2019 tidak banyak perubahan, namun perubahan signifikan bisa dilihat pada tahun 2013. Perbandingan luas kekritisian daerah resapan dari tahun 2006-2103 disajikan pada Tabel 3.

Bilangan Kurva (Curve Number)

Bilangan kurva seharusnya hanya digunakan sebagai pedoman, hubungan nilai CN dan empiris yang sebenarnya harus ditentukan berdasarkan data lokal dan regional pada waktu penelitian dilakukan

(Awkins 1998 dan Canters *et al.* 2006).

Dalam penelitian ini, bilangan kurva (CN) ditentukan pada setiap kelas kondisi daerah resapan berdasarkan kombinasi antara bentuk penggunaan lahan, kelompok hidrologi tanah dan kondisi hidrologi daerah resapan. Kondisi hidrologi diperoleh dari klasifikasi tingkat kekritisian daerah resapan dengan asumsi bahwa semakin kritis suatu daerah resapan maka kondisi hidrologinya semakin buruk (CN besar, limpasan tinggi dan infiltrasi

Tabel 3. Kondisi kekritisian daerah resapan DAS Cisadane Hulu

No	Kondisi daerah resapan	Luas						Luas rata-rata (%)
		2006		2009		2013		
		ha	%	ha	%	ha	%	
1	Baik	21095.5	24.7	21034.1	24.7	20120.4	23.6	24.3
2	Normal alami	5656.2	6.6	5283.4	6.2	3129.9	3.7	5.5
3	Mulai kritis	15230.2	17.9	15170.3	17.8	16506.3	19.4	18.4
4	Agak kritis	21286.5	25.0	21203.9	24.9	26162.2	30.7	26.9
5	Kritis	20342.3	23.9	20892.3	24.5	18767.9	22.0	23.5
6	Sangat kritis	1645.5	1.9	1672.2	2.0	569.5	0.7	1.5
Total		85256.2	100	85256.2	100	85256.2	100	

(Sumber : Hasil analisis 2015)

Hasil menunjukkan bahwa sebaran luas (dalam satuan %) kekritisian daerah resapan di DAS Cisadane Hulu secara berturut-turut pada tahun 2006, 2009 dan 2013, yaitu: kondisi baik seluas 24.7%, 24.7%, 23.6%; normal alami seluas 6.6%, 6.2%, 3.7%; mulai kritis seluas 17.9%, 17.8%, 19.4%; agak kritis seluas 25.0%, 24.9%, 30.7%; kritis seluas 23.9%, 24.5%, 22%; dan sangat kritis seluas 1.9%, 2%, 0.7%.

rendah). Kriteria penentuan ini terdiri dari 3 jenis kondisi, yaitu baik; untuk kondisi resapan (baik dan normal alami); sedang untuk kondisi resapan (mulai kritis dan agak kritis); dan buruk untuk kondisi resapan (kritis dan sangat kritis). Besarnya CN_p pada setiap kondisi kekritisian daerah resapan disajikan pada Tabel 4.

Dari hasil analisis menunjukkan semakin buruk (kritis) kondisi daerah resapan, nilai CN-nya semakin besar. Nilai CN juga berkorelasi negatif terhadap retensi potensial maksimum (S), nilai CN

Tabel 4. Nilai CN_p berdasarkan kondisi daerah resapan di DAS Cisadane Hulu

No	Kondisi daerah resapan	Tahun 2006			Tahun 2009			Tahun 2013		
		CN _p I	CN _p II	CN _p III	CN _p I	CN _p II	CN _p III	CN _p I	CN _p II	CN _p III
1	Baik	48.8	69.2	83.7	48.9	69.3	83.7	48.9	69.3	83.7
2	Normal Alami	50.4	70.5	84.5	50.9	71.0	84.8	52.2	72.1	85.6
3	Mulai Kritis	59.1	77.5	88.8	59.1	77.4	88.7	59.4	77.7	88.9
4	Agak Kritis	60.5	78.4	89.3	60.5	78.4	89.3	60.5	78.4	89.3
5	Kritis	65.7	81.6	91.0	65.7	81.6	90.9	68.1	83.1	91.7
6	Sangat Kritis	65.9	82.0	91.2	66.1	82.1	91.3	69.0	83.8	92.2

yang tinggi akan menyebabkan retensi potensial maksimum menjadi rendah dan sebaliknya. Hal ini sesuai dengan pendapat Fan *et al.* (2013), yang menyatakan bahwa sensitivitas perubahan nilai CN terhadap retensi air adalah menurunnya nilai CN akan menaikkan retensi potensial maksimum.

Hasil simulasi Limpasan Permukaan dan Laju Infiltrasi

Total curah hujan tahunan yang jatuh di DAS Cisadane Hulu sebesar 3647.84 mm. Simulasi dilakukan dengan parameter input yang sama yaitu curah hujan harian (tahun 2004-2014), sedangkan kondisi daerah resapan sebagai parameter yang akan merespon input curah hujan. Hasil simulasi pada kondisi daerah resapan tahun

2006, 2009 dan 2013 menunjukkan limpasan permukaan paling kecil terjadi pada kondisi daerah resapan baik dengan nilai (1923.3 mm, 1923.8 mm dan 1925.7 mm) dan limpasan permukaan terbesar terjadi pada daerah resapan sangat kritis dengan nilai (2570.5 mm, 2580.3 mm dan 2686.6 mm), sebaliknya laju infiltrasi terkecil terjadi pada kondisi daerah resapan sangat kritis dengan nilai (482.7 mm, 482.0 mm dan 443.5 mm) dan sebaliknya laju infiltrasi terbesar terjadi pada kondisi daerah resapan baik dengan nilai (745 mm, 745.1 mm dan 743.2 mm). Hasil menunjukkan limpasan permukaan semakin besar pada daerah resapan yang kondisinya lebih buruk dan besarnya cenderung meningkat, sebaliknya laju infiltrasi semakin kecil pada daerah

Tabel 5. Limpasan permukaan dan laju infiltrasi di daerah resapan DAS Cisadane Hulu

No	Kondisi daerah resapan	Neraca Air (mm)								
		Tahun 2006			Tahun 2009			Tahun 2013		
		Ia	Q	F	Ia	Q	F	Ia	Q	F
1	Baik	979.5	1923.3	745.0	978.9	1923.8	745.1	978.9	1925.7	743.2
2	Normal Alami	937.3	1979.4	731.1	925.7	1999.5	722.6	886.0	2057.7	704.1
3	Mulai Kritis	721.2	2317.4	609.2	720.9	2316.7	610.2	722.5	2328.5	596.8
4	Agak Kritis	708.2	2367.2	572.4	708.2	2368.0	571.6	708.3	2367.7	571.8
5	Kritis	602.7	2545.8	499.3	599.9	2541.3	506.6	546.4	2637.6	463.8
6	Sangat Kritis	594.6	2570.5	482.7	585.5	2580.3	482.0	517.7	2686.6	443.5
Rata-rata		757.3	757.3	606.6	753.2	753.2	606.3	726.7	2334.0	587.2
Rata-rata (%)		20.8	20.8	16.6	20.6	20.6	16.6	19.9	64.0	16.1

Keterangan: Ia: Abstraksi awal, Q; Limpasan, F: Laju Infiltrasi

Tabel 6. Perubahan (*deviation*) limpasan permukaan dan laju infiltrasi pada setiap daerah resapan

No	Kondisi daerah resapan	Perubahan limpasan permukaan dan laju infiltrasi (%)					
		Tahun (2006-2009)		Tahun (2009-2013)		Tahun (2006-2013)	
		Q	F	Q	F	Q	F
1	Baik	0.03	0.02	0.10	-0.26	0.13	-0.24
2	Normal Alami	1.01	-1.17	2.91	-2.55	3.95	-3.70
3	Mulai Kritis	-0.03	0.16	0.51	-2.20	0.48	-2.04
4	Agak Kritis	0.03	-0.14	-0.02	0.03	0.02	-0.11
5	Kritis	-0.17	1.45	3.79	-8.44**	3.61	-7.11
6	Sangat Kritis	0.38	-0.16	4.12	-7.97	4.52*	-8.12
	Rata-rata	0.21	0.03	1.90	-3.56	2.12	-3.55

Sumber: Hasil analisis (2015)

resapan yang kondisinya lebih buruk. Limpasan permukaan dan laju infiltrasi selengkapnya disajikan pada Tabel 5.

Perubahan limpasan permukaan dan laju infiltrasi yang terjadi sangat kecil, yaitu dengan peningkatan maksimum berupa limpasan sebesar 4.52% pada daerah resapan sangat kritis dan penurunan minimum berupa infiltrasi sebesar -8.44% pada daerah resapan kritis. Pada tahun 2006-2009 limpasan permukaan dan laju infiltrasi rata-rata meningkat sebesar

0.21% dan 0.03%, pada tahun 2009-2013 limpasan permukaan rata-rata meningkat sebesar 1.90% dan laju infiltrasi rata-rata menurun sebesar 3.56%. Pada tahun 2006 - 2013 perubahan yang terjadi yaitu, limpasan permukaan rata-rata naik sebesar 2.12% dan laju infiltrasi rata-rata menurun sebesar 3.55%. Perubahan limpasan permukaan dan laju infiltrasi pada masing-masing kelas daerah resapan disajikan pada Tabel 6.

Tabel 7 Potensi laju resapan di DAS Cisadane Hulu berdasarkan kelas kondisi daerah resapan (tahun 2006, 2009 dan 2013)

No	Kondisi daerah resapan	Tahun						Potensi Resapan (10 ⁶ m ³)			
		2006		2009		2013		Tahun			
		Luas (km ²)	% F	Luas (km ²)	% F	Luas (km ²)	% F	2006	2009	2013	Rata-rata m ³
1	Baik	211.0	20.4	210.3	20.4	201.2	20.4	157.2	156.7	149.5	154.5
2	Normal Alami	56.6	20.0	52.8	19.8	31.3	19.3	41.4	38.2	22.0	33.9
3	Mulai Kritis	152.3	16.7	151.7	16.7	165.1	16.4	92.8	92.6	98.5	94.6
4	Agak Kritis	212.9	15.7	212.0	15.7	261.6	15.7	121.8	121.2	149.6	130.9
5	Kritis	203.4	13.7	208.9	13.9	187.7	12.7	101.6	105.9	87.1	98.2
6	Sangat Kritis	16.5	13.2	16.7	13.2	5.7	12.2	7.9	8.1	2.5	6.2
	Total tahunan							522.7	522.6	509.3	518.2

Potensi Resapan Daerah Aliran Sungai

Analisis potensi resapan dilakukan untuk mengetahui besarnya volume air hujan yang bisa diresapkan oleh daerah resapan DAS Cisadane Hulu. Besarnya potensi resapan sangat dipengaruhi oleh faktor infiltrasi dan luas daerah resapan. Menurut Asdak (2004), daerah resapan umumnya terletak di daerah dengan karakteristik wilayah yang didominasi oleh vegetasi (hutan dan komunitas vegetasi lainnya) dan dengan curah hujan besar. Besarnya potensi laju resapan air diperoleh dari hasil kali antara faktor infiltrasi (kemampuan infiltrasi air hujan %) dengan curah hujan dan luas daerah resapan. Tabel 7 menunjukkan hasil prediksi potensi resapan air di setiap kelas daerah resapan DAS Cisadane Hulu. Tabel 7 Potensi laju resapan di DAS Cisadane Hulu berdasarkan kelas kondisi daerah resapan (tahun 2006, 2009 dan 2013)

Hasil prediksi potensi resapan air rata-rata DAS Cisadane Hulu berdasarkan kondisi daerah resapan tahun 2006, 2009 dan 2013 adalah $518.2 \times 10^6 \text{ m}^3$ /tahun.

Daerah resapan dalam kondisi baik memberikan kontribusi potensi laju resapan air terbesar, yaitu sekitar 29.8% atau sebesar $154.5 \times 10^6 \text{ m}^3$ /tahun, sedangkan potensi resapan air terkecil dimiliki oleh daerah resapan dalam kondisi sangat kritis yaitu sekitar 1.2% atau sebesar $6.2 \times 10^6 \text{ m}^3$ /tahun.

Prediksi potensi resapan air tahunan pada setiap perubahan kondisi daerah resapan tahun 2006, 2009 dan 2013 juga dilakukan dengan menggunakan curah hujan tahunan (Tabel 8).

Perubahan kondisi daerah resapan yang terjadi di DAS Cisadane Hulu dari tahun 2006, 2009 dan 2013 berpengaruh sangat kecil dan cenderung menurunkan kemampuan DAS dalam meresapkan air. Potensi resapan air rata-rata tahunan pada tahun 2006 dan 2009 menunjukkan nilai yang tidak jauh berbeda yaitu $517.3 \times 10^6 \text{ m}^3$ dan $517.0 \times 10^6 \text{ m}^3$ atau sekitar 14.2 % dari total curah hujan, pada tahun 2013 potensi laju resapan mengalami penurunan menjadi $500.7 \times 10^6 \text{ m}^3$ atau sekitar 13.7 % dari total curah hujan yang turun. Hasil prediksi potensi resapan air rata-rata DAS

Tabel 8 Potensi laju resapan tahunan di DAS Cisadane Hulu berdasarkan kondisi daerah resapan (tahun 2006, 2009 dan 2013)

Tahun	Curah Hujan (mm)	Potensi Resapan (10^6 m^3)				Perubahan (<i>deviation</i>) potensi resapan (%)		
		Tahun				2006-2009	2009-2013	2006-2013
		2006	2009	2013	Rata-rata			
2004	3311.7	499.5	504.5	492.1	498.7	1.0	-2.5	-1.5
2005	3018.2	359.9	358.6	344.9	354.5	-0.4	-3.8	-4.2
2006	2655.1	360.6	361.9	345.1	355.9	0.4	-4.7	-4.3
2007	3720.7	546.5	546.4	540.9	544.6	0.0	-1.0	-1.0
2008	4155.4	573.1	570.1	560.9	568.0	-0.5	-1.6	-2.1
2009	3887.2	591.8	592.3	575.5	586.5	0.1	-2.8	-2.8
2010	5269.6	754.7	751.8	722.5	743.0	-0.4	-3.9	-4.3
2011	2523.8	364.7	362.1	344.6	357.2	-0.7	-4.8	-5.5
2012	3247.1	440.8	441.7	432.9	438.4	0.2	-2.0	-1.8
2013	4069.2	594.1	594.5	571.3	586.6	0.1	-3.9	-3.8
2014	4268.2	604.1	603.3	577.0	594.8	-0.1	-4.4	-4.5
Rata-rata		517.3	517.0	500.7	511.7			
Rata-Rata (%)		14.2	14.2	13.7	14.0	-0.04	-3.2	-3.3

Cisadane Hulu dengan menggunakan input curah hujan 11 tahun (2004-2014) adalah $511.7 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{tahun}$.

Nilai *deviation* (perubahan) rata-rata potensi laju resapan air antara tahun 2006-2009 adalah yang paling kecil, yaitu potensi resapannya turun sekitar 0.04%, potensi laju resapan air antara tahun 2009-2013 dan 2006-2013 turun sebesar 3.2% dan 3.3%. Perbedaan potensi resapan anantara tahun 2006-2013 hampir tidak terlihat karena nilai perubahan (*deviation*)-nya yang sangat kecil.

KESIMPULAN

Dari hasil identifikasi diperoleh sebaran luas kondisi kekritisitas daerah resapan di DAS Cisadane Hulu berturut-turut pada tahun 2006, 2009 dan 2013, yaitu daerah resapan dalam kondisi baik sebesar 24.7%, 24.7%, 23.6%; normal alami sebesar 6.6%, 6.2%, 3.7%; mulai kritis sebesar 17.9%, 17.8%, 19.4%, agak kritis sebesar 25.0%, 24.9%, 30.7%; kondisi kritis sebesar 23.9%, 24.5%, 22.0%; dan sangat kritis sebesar 1.9%, 2.0%, 0.7%.

Besarnya potensi resapan air rata-rata yang dimiliki oleh daerah resapan DAS Cisadane Hulu dalam kondisi baik sebesar $154.5 \times 10^6 \text{ m}^3$, normal alami sebesar $33.9 \times 10^6 \text{ m}^3$, mulai kritis sebesar $94.6 \times 10^6 \text{ m}^3$, agak kritis sebesar $130.9 \times 10^6 \text{ m}^3$, kritis sebesar $98.2 \times 10^6 \text{ m}^3$, sangat kritis sebesar $6.2 \times 10^6 \text{ m}^3$. Hasil prediksi potensi resapan air rata-rata tahunan adalah $511.7 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{tahun}$ sampai dengan $518 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{tahun}$ atau sekitar 14% – 15% dari total curah hujan.

DAFTAR PUSTAKA

[BP DAS] Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Citarum-Ciliwung. 2010. *Laporan Peta Penggunaan Lahan, Peta Administrasi, Peta Jenis Tanah DAS Cisadane*. Bogor [ID]: Kementrian

Kehutanan. Direktorat Jenderal Bina Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Citarum-Ciliwung.

[USDA] United States Development of Agricultural. 1986. *Urban hydrology for small watersheds*. TR-55. Second ed. *Natural Resources Conservation Service*.

Arsyad S. 2006. *Konservasi Tanah dan Air*. Bogor [ID]: IPB Pr.

Bonta JV. (1997). Determination of watershed curve number using derived distributions. *J Irrigation and Drainage Engineering* 123 (1): 28-36.

Canters F, Chormanski J, Van de Voorde T, Batelaan O. 2006. Effects of Different Methods for Estimating Impervious Surface cover on Runoff Estimation at Catchment Level. In *Proceedings of 7th International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences*, Lisbon, Portugal. pp. 557–566.

Dong L, Xiong L, Lall U and Wang J. 2015. The effects of land use change and precipitation change on direct runoff in Wei River watershed, China. *J Water Science & Technology* 71 (2): 289-295.

Fan F, Deng Y, Hu X and Weng Q. 2013. Estimating composite curve number using an improved SCS-CN method with remotely sensed variables in Guangzhou, China. *J Remote Sens* 5 (3):1425-1438.

Hawkins RH. 1998. Local Sources for Runoff Curve Numbers. In *Proceedings of 11th Annual Symposium of the Arizona Hydrological Society*, Tucson, AZ, USA.

Iwaco-Waseco dan PU 1990. *West Java Provincial Water Sources Master Plan for Water Supply, Bandung Hydrological Study*. Government of Indonesia. Ministry of Public Works, Jakarta.

- Kementerian Kehutanan 2008. *Laporan Akhir Penyusunan Rencana Detil Penanganan Banjir di Wilayah Jabodetabekjur*. Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Citarum-Ciliwung [ID].
- Kementerian Kehutanan 2009. Peraturan Menteri Kehutanan Republik Indonesia No: P. 32/Menhut-II/2009. *Tata Cara Penyusunan Rencana Teknik Rehabilitasi Hutan Dan Lahan Daerah Aliran Sungai (RTkRHL-DAS)*. Jakarta.
- Kumar PS dan Rishi KH. 2013. Simulation of rainfall runoff using SCS & RRL (Case study Tadepalli Mandal). *J Engineering Research and General Science* 1 (1) : 1-11.
- Luxon N and Pius C. 2013. Validation of the rainfall runoff SCS-CN model in a catchment with limited measured data in Zimbabwe. *J Water Resources and Environmental Engineering*. 5 (6): 295-303.
- Melesse AM and Graham WD. 2004. Storm runoff prediction based on a spatially distributed travel time method utilizing remote sensing and GIS. *J American Water Resources Association* 2150: 863-879.
- Muchena FN. 2008. Indicators for sustainable land management in Kenya's context. GEF L. Degrad. Focal Area Indic. ETC-East Africa. Nairobi, Kenya.
- Nilda, Adnyana IWS, Merit IN. 2015. Analisis perubahan penggunaan lahan dan dampaknya terhadap hasil air di das cisadane hulu. *J Ecotrophic* 9 (1): 35-45.
- Ouédraogo I, Tigabu M, Savadogo P, Compaoré H, Odén P, Ouadba J. 2010. Land cover change and its relation with population dynamics in Burkina Faso, West Africa. *J Land Degrad Dev*. 21, 453-462.
- Reshma T, PS Kumar, RK Babu, KS Kumar. 2010. Simulation of runoff in watersheds using SCS-CN and muskingum-cunge methods using remote sensing and geographical information systems. *J Advanced Science and Technology*. 25: 3-42.
- Schulze RE. 2000. Modelling Hydrological Responses to Land use and Climate change: A Southern African Perspective. *J Ambio* 29 (1): 12-22.
- Selvam S, Farooq AD, Magesh NS, Singaraja C, Venkatramanan S, Chung SY. 2015. Application of remote sensing and GIS for delineating groundwater recharge potential zones of Kovilpatti Municipality, Tamil Nadu using IF technique. *J Earth Sciences One One Informatics*. pp 1-14.
- Viji R, Prasanna PR, Ilangovan R. 2015. Gis based SCS-CN method for estimating runoff in Kundahpalam watershed, Nilgries District, Tamilnadu. *J Earth Sciences Research* 19 (1): 59-64.
- Vink APA. 1975. *Land Use in Advancing Agriculture*. Berlin [DE]: Springer-Verlag.
- Zhan X dan Huang M-L. 2004. ArcCN-Runoff: an ArcGIS tool for generating curve number and runoff maps. *J Environmental Modelling & Software* 19 (10): 875-879.