LAPORAN KULIAH KERJA LAPANGAN III

APLIKASI PEMODELAN HEC-HMS UNTUK IDENTIFIKASI KEJADIAN BANJIR BANDANG DI DAS CIMANUK HULU, KABUPATEN GARUT

Afid Nurkholis
Nuringtyas Yogi Jurnawan
Rizka Ratna Sayekti
Yuli Widyaningsih
Asteria Niyta
Saidah Istiqomah
Galih Dwi Jayanto
Agung Hidayat
Trisna Pramanda
Egha Friyansari
Erna Puji Lestari
Hanindha Pradipa
Suci Yolanda
Erlyn Mattoreang

(email author: afidnurkholis@gmail.com)

**DEPARTEMEN GEOGRAFI LINGKUNGAN
FAKULTAS GEOGRAFI
UNIVERSITAS GADJAH MADA
YOGYAKARTA**

2016

ABSTRAK

Banjir adalah salah satu dari tiga bencana yang selalu terjadi di Indonesia. Banjir bandang di DAS Cimanuk Hulu merupakan bencana terbesar yang terjadi di tahun 2016. Kejadian ini menyebabkan 34 orang meninggal dunia, 19 orang hilang, dan 9 orang terluka. Penelitian ini akan mengidentifikasi subDAS prioritas penyebab banjir bandang Garut dan menganalisis faktor-faktor yang menyebabkannya. Pemodelan HEC-HMS digunakan untuk menentukan sub DAS prioritas. Analisis geomorfologi dan observasi lapangan dilakukan untuk menjelaskan faktor-faktor penyebab banjir bandang. Hasil penelitian menunjukkan Hulu DAS Cimanuk di Gunung Papandayan dan Cikuray merupakan penyumbang limpasan permukaan tertinggi dengan nilai $39,9 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ dan $50,1 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$. Faktor-faktor yang menyebabkan hal tersebut adalah curah hujan, karakteristik tanah, dan morfometri DAS. Curah hujan rerata tahunan selama lima tahun menunjukkan nilai 2941-3154 mm. Permeabilitas tanah memiliki nilai rendah yang tergolong sebagai *hydrological soil group* bertipe D. Kerapatan aliran dan *time concentration* memiliki kelas sedang hingga tinggi. Kombinasi ketiga aspek tersebut merupakan penyebab utama banjir bandang Garut.

katakunci: banjir bandang, HEC-HMS, sub das prioritas, DAS Cimanun Hulu

ABSTRACT

Flooding is one of the most frequent disasters in Indonesia (besides landslide and windstorm). Meanwhile, the flash floods in Upper Cimanuk Watershed are the most devastating disaster that occurred in 2016. This incident caused 34 people died, 19 missing, and 9 injured. The objective of this research is to identify sub basins priority and analyze the factors that caused flash flood in study area. HEC-HMS modeling software is used to establish sub basins priority. Factors causing flash flood are explained by geomorphological approach and field observatory. The results showed that Upper Cimanuk Watershed in Papandayan and Cikuray Volcanoes was the highest contributor to surface runoff ($39.9 \text{ m}^3/\text{s}$ per square kilometer and $50.1 \text{ m}^3/\text{s}$ per square kilometer). Rainfall, soil characteristics, and watershed morphometry are factors causing flash flood. The annual average rainfall of five years' data shows a value of 2941-3154 mm. Soil permeability has a low value and classified as hydrological soil group type D. Drainage density and time concentration (T_c) have medium to high class. The combination of three factors is the main cause of flash flood in Upper Cimanuk Watershed.

keywords: flash flood, HEC-HMS modelling, sub basins priority, Upper Cimanuk Watershed

Sitasi model APA:

Nurkholis, A., Jurnawan, N. Y., Sayekti, R. R., Widyaningsih, Y., Laksita, A.,... Mattoreang, E. (2016, December 11). Laporan KKL III: Aplikasi Pemodelan HEC-HMS untuk Identifikasi Kejadian Banjir Bandang di DAS Cimanuk Hulu, Kabupaten Garut. <http://doi.org/10.17605/OSF.IO/NKA8S>

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia dikenal sebagai negara yang sering mengalami bencana. Bencana merupakan peristiwa atau serangkaian peristiwa yang mengancam dan mengganggu kehidupan dan penghidupan manusia yang dapat disebabkan oleh faktor alam, faktor non alam, maupun faktor manusia. Salah satu bencana keairan di Indonesia adalah bencana banjir. Banjir didefinisikan sebagai limpasan air yang melebihi tinggi muka air normal yang menyebabkan genangan di sisi sungai (BNPB, 2014).

Selama tahun 2016, bencana banjir terbesar di Indonesia terjadi di Kabupaten Garut, Provinsi Jawa Barat. Tipe banjir yang terjadi di Kabupaten Garut ini termasuk dalam tipe banjir bandang (*flash flood*). Banjir bandang memiliki aliran banjir yang tinggi dan sangat cepat tetapi dapat surut dengan waktu yang tidak lama. Limpasannya dapat merusak dan membawa bebatuan, pepohonan, dan apa saja yang dilaluinya. Banjir bandang biasa terjadi pada sungai dengan kemiringan dasar yang curam (BNPB, 2014).

Banjir bandang melanda 7 kecamatan di Kabupaten Garut, yaitu Kecamatan Bayongbong, Garut Kota, Banyu Resmi, Tarogong Kaler, Tarogong Kidul, Karang Pawitan, dan Samarang. Daerah terdampak banjir bandang tersebut merupakan dataran banjir di Sungai Cimanuk. Daerah terdampak termasuk dalam bagian dari DAS Cimanuk Hulu. Banjir bandang terjadi pada Selasa, 20 September 2016 pukul 22.00 WIB. Ketinggian banjir bandang mencapai 2 meter dengan waktu kenaikan puncak banjir yang sangat cepat dan surut pada keesokan harinya pukul 04.00 WIB. Banjir bandang tersebut telah memakan korban jiwa yang mana terdapat 34 orang meninggal, 19 orang hilang, dan 9 orang terluka (BNPB, 2016).

Banyaknya korban jiwa akibat banjir bandang yang melanda Kabupaten Garut menyadarkan bahwa diperlukannya upaya-upaya pengurangan risiko bencana yang tepat. Hal ini berkaitan dengan paradigma mitigasi yang memiliki tiga tujuan, antara lain identifikasi daerah-daerah rawan bencana, mengenali pola-pola yang dapat menimbulkan kerawanan, dan melakukan kegiatan-kegiatan mitigasi (Suprayogi dkk, 2014). Oleh karena itu, dilakukan penelitian untuk mengurangi risiko bahaya banjir bandang dari kaca mata hidrologi. Batasan wilayah kajian meliputi DAS Cimanuk Hulu

yang termasuk di dalamnya merupakan daerah terdampak banjir bandang di Kabupaten Garut.

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

- a. Mengidentifikasi subdas prioritas berdasarkan respon hidrologi.
- b. Menganalisis karakteristik subdas prioritas.

1.3. Tinjauan Pustaka

1.3.1. Banjir dan Banjir Bandang

Menurut UU Nomor 24 tahun 2007, banjir adalah keadaan dimana terendamnya suatu daratan akibat volume air yang meningkat. Menurut Sukiyah, 2004, Litologi (tipe dan tekstur batuan), penggunaan lahan, intensitas hujan, kemiringan lereng, karakteristik aliran (orde aliran), dan deformasi lahan akibat tektonik (morfotektonik) merupakan aspek yang berkaitan terjadinya banjir pada suatu daerah. Faktor penyebab banjir dan durasi genangan selain dipengaruhi curah hujan dapat disebabkan oleh kapasitas saluran rendah dan fluktuasi muka airlaut khususnya dataran aluvial pantai, unit-unit geomorfologi seperti daerah rawa, rawa belakang, dataran banjir, pertemuansungai dengan dataran alluvial (Dibyosaputro, 1984).

Menurut Kodoatie dan Sugiyanto, 2002, terdapat dua peristiwa banjir, pertama peristiwa banjir/genangan yang terjadi pada daerah yang biasanya tidak terjadi banjir dan kedua peristiwa banjir terjadi karena debit tidak mampu tertampung oleh sungai. Berikut beberapa karakteristik dari banjir:

- a. Banjir datang secara perlahan namun intensitas hujannya sedikit.
- b. Pola banjirnya musiman.
- c. Banjir datang secara perlahan tetapi dapat menjadi genangan yang lama di daerah depresi.

Banjir bandang merupakan suatu proses aliran air yang deras dan pekat disertai dengan muatan sedimen berupa bongkah-bongkah batuan dan tanah serta batang-batang kayu (debris) yang berasal dari arah hulu sungai. Banjir bandang berbeda dengan banjir biasa karena dalam proses banjir bandang terjadi kenaikan debit air secara tiba-tiba dan cepat meskipun tidak ada hujan di daerah hilir sungai yang banjir (Price, 2009). Umumnya banjir bandang terjadi karena meluapnya air hujan yang sangat deras,

khhususnya bila tanah bantaran sungai rapuh dan tak mampu menahan cukup banyak air. Penyebab lain adalah kegagalan bendungan atau tanggul dalam menahan volume air (debit) yang meningkat, perubahan suhu menyebabkan berubahnya elevasi air laut, dan atau berbagai perubahan besar lainnya di hulu sungai termasuk perubahan fungsi lahan (Arsyad, 2010). Beberapa faktor hidrologi pemicu banjir bandang yaitu intensitas hujan yang tinggi, faktor klimatologis, dan juga geologis antara lain longsor dan pembendungan alamiah di daerah hulu (Meon, 2006).

1.3.2. Koefisien *Curve Number* (CN)

CN (*Curve Number*) atau bilangan kurva aliran permukaan merupakan bilangan hasil pendekatan empiris untuk mengestimasi limpasan permukaan dari hubungan antara hujan, tanah, penggunaan lahan, dan perlakuan terhadap tanah (Arsyad, 2010). CN diestimasi berdasarkan klasifikasi tanah, tutupan lahan, dan kondisi kelembaban tanah sebelumnya (Tino, dkk, 2012). Hasil perpaduan parameter-parameter tersebut menghasilkan nilai CN yang mana nilai CN menunjukkan potensi air larian untuk curah hujan dalam waktu dan tempat tertentu (Asdak 2010).

Melalui rumus empiris, CN digunakan untuk mengetahui curah hujan yang menjadi limpasan permukaan. Rumusnya yaitu:

$$Q_{surf} = \frac{(P_{day} - I_a)^2}{(P_{day} - I_a + S)} \dots\dots\dots(1)$$

$$I_a = 0,2 S \dots\dots\dots(2)$$

$$S = 25.4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \dots\dots\dots(3)$$

(metrik)

Keterangan:

Q_{surf} : akumulasi aliran permukaan

P_{day} : hujan harian

I_a : abstraksi awal

S : retensi

CN : curve number

(Arsyad, 2010)

1.3.3. Morfometri DAS

Daerah Aliran Sungai (DAS) adalah satu kesatuan ekosistem yang terdiri dari unsur sumberdaya alam tanah, air, dan vegetasi serta sumberdaya manusia dan memiliki fungsi sebagai sistem hidrologi yang mengandung arti bahwa ada masukan, proses, dan

keluaran (Suprayogi dkk, 2014). Morfometri DAS adalah keadaan morfologi sungai yang dinyatakan secara kuantitatif (Horton, 1932). Menurut Soewarno (1991) morfometri DAS adalah istilah yang digunakan untuk menyatakan keadaan jaringan alur sungai secara kuantitatif. Keadaan yang dimaksud untuk analisa aliran sungai antara lain sebagai berikut.

a. Luas

Garis batas antara DAS adalah punggung permukaan bumi yang dapat memisahkan dan membagi air hujan ke masing-masing DAS. Garis batas tersebut ditentukan berdasarkan perubahan kontur dari peta topografi sedangkan luas DAS dapat diukur dengan alat planimeter.

b. Panjang dan Lebar

Panjang merupakan jarak datar dari muara sungai ke arah hulu sepanjang sungai induk, sedangkan lebar DAS adalah perbandingan antara luas DAS dibagi panjang sungai induk.

c. Kemiringan

Parameter dimensional yang menggambarkan besarnya penurunan rerata tiap satuan jarak horizontal tertentu pada saluran sungai utama.

d. Orde Sungai

Orde sungai merupakan posisi percabangan alur sungai di dalam urutannya terhadap induk sungai di dalam suatu DAS. Hal tersebut berarti bahwa semakin banyak jumlah orde sungai, maka akan semakin luas DAS dan akan semakin panjang pula alur sungainya. Umumnya penentuan orde sungai menggunakan metode Stahler dimana alur sungai paling hulu yang tidak mempunyai cabang merupakan orde pertama (orde 1), pertemuan antara orde pertama disebut dengan orde kedua (orde 2) dan seterusnya. Penentuan orde sungai dengan metode Stahler dapat dilihat pada Gambar 1.

e. Kerapatan Sungai

Kerapatan sungai adalah suatu angka indek yang menunjukkan banyaknya anak sungai di dalam suatu DAS (Soewarno, 1991). Kerapatan sungai ditentukan berdasarkan perbandingan antara panjang sungai dibagi dengan luas DAS. Secara umum, semakin besar nilai kerapatan sungai (D_d), semakin baik sistem pengaliran

(drainase) di daerah tersebut. Artinya, semakin besar jumlah air larian total (semakin kecil infiltrasi), dan semakin kecil airtanah yang tersimpan di daerah tersebut (Asdak, 2007).

Gambar 1.1. Penentuan Alur Sungai Metode Strahler

1.3.4. Pemodelan HEC-HMS

Kompleksitas hidrologi terkadang memerlukan suatu abstraksi untuk memahami fenomena hidrologi. Abstraksi tersebut ditempatkan dalam pemodelan hidrologi, salah satunya HEC-HMS (Indarto, 2010). *Hydrologic Engineering Centre-Hydrologic Modeling System* (HEC-HMS) adalah pemodelan hidrologi untuk mentransformasi curah hujan menjadi aliran pada suatu DAS (Affanfy dkk, 2007). HEC-HMS pada dasarnya tergolong model semi terdistribusi.

HEC-HMS berisi dari gabungan beberapa model yang diringkas dalam tools. Beberapa model yang terdapat dalam HEC-HMS terbagi atas empat yaitu:

1. model untuk volume *runoff*;
2. model untuk direct runoff;
3. model untuk memperkirakan baseflow; dan
4. model untuk saluran terbuka.

Perhitungan tersebut dapat dilakukan dengan berbagai metode yang terdapat dalam model HEC-HMS. Adapun model yang tersedia pada tools HEC-HMS dapat dilihat pada Tabel 1.1 (Scharffenberg, 2013). Proses hidrologi oleh model HEC HMS secara singkat dapat dilihat pada Gambar 1.2. Proses diawali dengan presipitasi yang jatuh pada vegetasi, permukaan tanah, dan tubuh air.

Gambar 1.2. Skema Proses Hidrologi HEC-HMS

Tabel 1. Model yang Terdapat dalam HEC-HMS (Scharffenberg, 2013)

Paramter	Model
Volume runoff	<i>Initial and Constant rate</i> SCS curve number (CN) Gridded SCS CN Green and Ampt Deficit and constant rate Soil moisture accounting (SMA) Gridded SMA
Direct runoff (overland flow dan interflow)	User-spesified unit hydrograph Clark's UH Snyder's UH SCS UH Modclark Kinematic wave
Baseflow	Constant monthly Exponential recession Linier reservoir

Paramter	Model
<i>Channel flow</i>	<i>Kinematic wave</i> <i>Lag</i> <i>Modified Puls</i> <i>Muskingum</i> <i>Muskingum-Cunge Standard Section</i> <i>Muskingum-Cunge 8-point Section</i>

II. METODE PENELITIAN

2.1. Lokasi Penelitian

Cimanuk merupakan salah satu dari 7 sungai yang ada di Jawa Barat dengan curah hujan 1.500-3.000 mm/tahun dengan luas DAS 347.697 ha, mencakup wilayah pemerintahan Garut, Sumedang, Majalengka, dan Indramayu. Sungai sepanjang 337,67 km ini merupakan sungai terpanjang kedua di Jawa Barat yang mampu menyediakan 2,2 miliar m³ air per tahun, yang sebagian besar digunakan untuk irigasi lahan pertanian. Sungai Cimanuk berasal dari lereng-lereng Gunung Papandayan, Cikuray, dan Mandalagiri di Kabupaten Garut pada Ketinggian ± 1200 di atas permukaan laut, mengalir ke arah timur sepanjang 180 km dan bermuara di Laut Jawa di Kabupaten Indramayu (Susetyaningsih, 2012).

Subdas Cimanuk Hulu merupakan salah satu dari 42 DAS di Indonesia yang tergolong dalam DAS kritis dan mendapatkan prioritas penanganan, dengan luas lahan kritis diperkirakan sekitar 109.444 ha. Besar rata-rata sedimen tahunan adalah 932 ton km⁻² th⁻¹. Konsentrasi sedimen rata-rata 770 mg lt⁻¹ dengan fluktuasi debitnya 84:1 (di atas batas optimal 40:1) (Ditjen RRL, 1999; Ditjen RLPS, 2000).

Lokasi penelitian ini berada di DAS Cimanuk Hulu. Wilayah kajian dibatasi berdasarkan tema penelitian, yaitu banjir bandang yang terjadi pada 20 September 2016. Wilayah kajian mengambil *outlet* pada Kecamatan Tarogong yang merupakan daerah terdampak utama (Gambar 2.1). Satu kesatuan DAS tersebut selanjutnya dibagi lagi menjadi 36 subdas. Pembagian tersebut dilakukan dengan cara membatasi setiap cabang sungai yang masuk menuju Sungai Cimanuk utama sebagai satu subdas. Hal ini

dilakukan untuk mengetahui subdas mana yang memiliki debit penyumbang paling besar terhadap aliran Sungai Cimanuk.

Gambar 2.1. Peta Administrasi DAS Cimanuk Hulu

2.2. Data Penelitian dan Teknik Pengumpulan Data

Data yang dibutuhkan dalam penelitian ini meliputi data primer dan sekunder. Data primer terdiri dari data tekstur tanah, sedangkan data sekunder terdiri dari data debit, curah hujan, penggunaan lahan, dan morfometri DAS. Data yang digunakan dan cara perolehan data dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Data Penelitian dan Cara Perolehannya

No.	Data Penelitian	Cara Perolehan Data
1	Debit tahun 2005-2013	PSDA Garut pada stasiun hujan Kepakan, Pangauban, Pamegatan, dan Taragong
2	Curah hujan tahun 2005-2013	Stasiun hujan Kepakan, Pangauban, Pamegatan, dan Taragong
3	Penggunaan lahan	Citra SPOT Kabupaten Garut
4	Tekstur tanah	Uji laboratorium sampel tanah
5	Morfometri DAS	Pengolahan data dari Peta Rupabumi Indonesia dan DEM (<i>Digital Elevation Model</i>)

2.3. Teknik Pengolahan Data

Data yang dikumpulkan kemudian diolah untuk dapat mengetahui respon DAS Cimanuk Hulu dan mengetahui karakteristik hidrologi DAS Prioritas. Karakteristik hidrologi subdas prioritas diketahui dengan pendekatan beberapa perhitungan meliputi morfometri, *Curve Number*, dan pemodelan HEC-HMS. Perhitungan morfometri DAS meliputi panjang sungai utama (L), kemiringan sungai, kemiringan DAS, dan kerapatan aliran.

Pemodelan HEC-HMS digunakan untuk mengetahui respon DAS Cimanuk Hulu selama 5 tahun terakhir dengan input data hujan harian, *Curve Number*, dan morfometri DAS. Hasil dari pemodelan HEC-HMS ini adalah debit harian dari tahun 2005-2013. Data tahun 2005-2006 digunakan untuk pemodelan banjir, kemudian data tahun 2007-2008 digunakan untuk kalibrasi, dan data tahun 2009-2013 digunakan untuk validasi.

2.3.1. Koefisien Curve Number (CN)

Langkah penentuan koefisien *Curve Number* dapat dilihat pada Gambar 2.2.

Gambar 2.2. Diagram Alir Penentuan Koefisien *Curve Number* (CN)

2.3.2. Morfometri DAS

a. Panjang Sungai Utama (L)

Panjang sungai utama ditentukan dari outlet sungai hingga ke titik paling ujung DAS di bagian hulu. Berikut langkah kerja pengukuran sungai utama pada Gambar 1.4.

Gambar 1.4. Diagram Alir Penentuan Panjang Sungai Utama (L)

b. Kemiringan Sungai

Kemiringan sungai tiap subdas dihitung menggunakan metode *slope factor*.

Berikut rumus yang digunakan untuk menghitung kemiringan sungai.

$$So = \frac{h_{85} - h_{10}}{0,75 \times L} \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan:

L : panjang sungai utama

h_{85} : ketinggian pada jarak 0,85 dari panjang sungai utama

h_{10} : ketinggian pada jarak 0, 10 dari panjang sungai utama

c. Kemiringan DAS (*Centre of Gravity*)

Kemiringan DAS dilakukan dengan metode *Contour Length*. Kemiringan

DAS dihitung pada subdas. Berikut rumus yang digunakan untuk menghitung

kemiringan DAS.

$$sb = \frac{m \cdot h}{A} \dots\dots\dots(5)$$

Keterangan:

sb : lereng rata-rata DAS

m : panjang sungai utama

h : total panjang garis kontur (km)

A : luas subdas (km)

d. Kerapatan Aliran (*Drainage Density*)

Kerapatan aliran menunjukkan seberapa baik pengairan pada DAS tersebut.

Berikut rumus yang digunakan dalam perhitungan kerapatan aliran.

$$Dd = \frac{\Sigma Ln}{A} \dots\dots\dots(6)$$

Keterangan:

Dd : Kerapatan drainase (km/km²)
 Ln : panjang sungai (km)
 A : luas DAS (km²)

2.3.3. Pemodelan HEC-HMS

Tahapan-tahapan HEC-HMS untuk evaluasi banjir adalah sebagai berikut:

1. Membuat *project* baru, dengan langkah klik *File* → *New*, kemudian akan muncul kotak dialog *Create New Project* seperti gambar berikut. Isikan “DAS Hulu Cimanuk” pada *name*, kemudian tentukan tempat penyimpanan *project* pada *location*, dan gunakan *metric* pada *Default Unit System*, kemudian klik *Create*.

2. Memasukkan peta dasar dilakukan dengan memilih menu bar *View* → *Background Maps* seperti gambar dibawah ini. Kemudian isikan dengan data *shapefile* yang akan digunakan seperti batas DAS dan sungai.

3. Membuat *reach*, *junction*, *sink*, dan subbasin.
 - Pembuatan *junction* dengan *junction creation tool*.

- Pembuatan reach dengan reach creation tool.

- Pembuatan sink dengan sink creation tool.

- Pembuatan subbasin dengan subbasin creation tool.

4. Membuat *downstream* pada masing-masing titik.
5. Pengisian menu Subbasin, Loss, dan Transform
6. Input Data

- Membuat stasiun hujan untuk data *Fire Department*. Pilih menubar *Components* → *Meteorological Model Manager*, untuk mengisi data iklim seperti curah hujan yang akan digunakan dalam pemodelan ini.

- Buat control specification dengan memilih menubar *Components* → *Control Specification Manager*. Pada tools ini digunakan untuk menentukan periode data hujan yang digunakan untuk pemodelan ini.

7. Membuat dan Menghitung *Simulation Run*

Membuat suatu *simulation run* dengan memilih menu *Compute* → *Create Simulation Run*, untuk mengetahui hasil akhir dari pemodelan.

2.4. Teknik Analisis Data

Analisa hasil didasarkan atas berbagai data hasil pengolahan. Analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah Deskriptif Kuantitatif. Metode analisis ini dipilih untuk dapat menjelaskan hasil perhitungan dan pemodelan banjir dengan HEC-HMS yang didukung dengan pendekatan spasial. Analisis deskriptif kuantitatif menekankan pada hasil yang didapat dan hubungannya dengan proses geomorfologi yang terjadi di lokasi kajian. Dengan analisis hasil tujuan penelitian dapat dicapai atas dasar fakta dalam data dan teori yang mendukung.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Kalibrasi dan Validasi Model HEC-HMS

Pemodelan HEC-HMS dilakukan melalui tiga tahap, yaitu penyesuaian model, kalibrasi model, dan validasi model. Penyesuaian model menggunakan data tahun 2005-2006. Hal ini dilakukan agar model dapat beradaptasi dengan wilayah kajian. Data hasil penyesuaian model tersebut tidak digunakan dalam analisis.

Tahap kalibrasi dijalankan dalam kurun waktu 2007-2008. Kalibrasi dilakukan untuk memperbaiki hasil pemodelan yang memiliki perbedaan cukup besar dengan debit observasi (Gambar 3.1). Perbedaan debit model dengan debit observasi adalah sebesar 104.7% sebelum dilakukan kalibrasi (Gambar 3.2). Model HEC-HMS memiliki fasilitas kalibrasi secara otomatis.

Gambar 3.1. Perbandingan hidrograf model dengan observasi sebelum kalibrasi

Project:DAS Cimanuk Hulu

Optimization Trial:Calibrasi_1

Start of Trial: 31Dec2006, 00:00

Basin Model: Cimanuk Hulu 2007/08

End of Trial: 31Dec2008, 00:00

Meteorologic Model:Data Iklim 2007/08

Compute Time:DATA CHANGED, RECOMPUTE

Objective Function at Basin Element "J4"

Start of Function:31Dec2006, 00:00

Type: RMS Error

End of Function: 31Dec2008, 00:00

Value:21.14

Volume Units:

☒ MM
☐ 1000 M3

Measure	Simulated	Observed	Difference	Percent Difference
Volume (MM)	3094.15	1510.86	1583.29	104.79
Peak Flow (M3/S)	167.2	44.3	122.9	277.5
Time of Peak	21Apr2007, 00:00	26Nov2008, 00:00		
Time of Center of Mass	25Dec2007, 01:57	19Nov2007, 04:18		

Gambar 3.2. Perbedaan debit model dengan debit observasi sebelum kalibrasi

Hasil kalibrasi menunjukkan bahwa parameter *baseflow* merupakan yang paling sensitif. Hasil ini sesuai dengan input data yang digunakan dalam pemodelan ini. Data *baseflow* tidak dimiliki oleh setiap Sub DAS, sehingga merupakan parameter yang memiliki *uncertainty* paling tinggi. Hasil kalibrasi menunjukkan selisih debit model dengan observasi yang cukup kecil, yaitu 0,14%.

Parameter yang sudah terkalibrasi selanjutnya digunakan untuk melakukan *running* model dalam kurun waktu 2009-2013. Hasil validasi pada periode waktu tersebut

menunjukkan nilai R^2 sebesar 0.56 (Gambar 3.3). Nilai R^2 yang kurang maksimal ini utamanya disebabkan oleh hasil model yang selalu *overestimated* ketika terjadi hujan dengan intensitas tinggi (Tabel 3.1).

Gambar 3.3. Hasil validasi model

Tabel 3.1. Pasangan data curah hujan, debit model, dan debit observasi

Waktu	Hujan (mm)	Debit Model (m ³ /s)	Debit Observasi (m ³ /s)
1-Jan-13	48	153.3	83.6
2-Jan-13	54	216	86.6
3-Jan-13	32	149.4	86.6
4-Jan-13	42	154	86.6
5-Jan-13	76	270.4	86
6-Jan-13	24	163.2	84.8
7-Jan-13	55	193.2	81.9
8-Jan-13	41	212.5	86
9-Jan-13	19	118.1	82.4
10-Jan-13	23	107.1	49.7
11-Jan-13	2	50.7	41.4
12-Jan-13	43	138.5	46.5
13-Jan-13	28	125.9	64.8
14-Jan-13	17	82.8	76.2

Tabel 3.1 menjelaskan sampel data curah hujan yang menyebabkan debit model mengalami *overestimated*. Debit observasi cenderung hanya memiliki nilai maksimal sekitar 86 m³/s untuk hujan lebih dari 40 mm/hari. Hal tersebut dapat dilihat dalam pencatatan tanggal 1 hingga 4 Januari 2013. Sementara itu, hujan dengan intensitas

normal menunjukkan bahwa debit model tidak memiliki perbedaan yang besar dengan debit observasi (hujan tanggal 11 dan 14 Januari 2013).

Hasil diatas dapat menunjukkan bahwa pengukuran debit observasi diduga memiliki error ketika hujan cukup intensif. Hujan tersebut menyebabkan ketinggian muka air sungai menjadi besar, sehingga alat pengukur (piscal) tidak dapat membacanya. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengecekan lapangan terhadap stasiun pengukur debit tersebut.

3.2. Sebaran Limpasan Permukaan DAS Cimanuk Hulu

Hasil pemodelan menunjukkan bahwa subdas yang memiliki debit aliran tinggi berada pada bagian hulu DAS Cimanuk, yaitu berada di hulu Gunung Papandayan dan Gunung Cikuray (Gambar 3.4). Subdas dengan debit aliran sedang mengelompok pada bagian hilir. Sementara itu, subdas dengan klasifikasi debit aliran rendah berada pada bagian tengah DAS kajian. Subdas dengan klasifikasi debit tinggi memiliki nilai yang berkisar antara $39,9 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ hingga $50,1 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ pada data tahunan dan $0,11 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ hingga $0,14 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ pada data harian (Tabel 3.1). Berdasarkan data tersebut, analisis mengenai penyebab subdas dengan debit aliran tinggi perlu dilakukan.

Tabel 3.1. Debit Rerata Tahunan dan Harian DAS Cimanuk Hulu

Subdas	Luas Subdas (km^2)	Debit Rerata Tahunan		Debit Rerata Harian	
		$\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$	Klasifikasi	$\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$	Klasifikasi
1	93.517	25.9	Sedang	0.07	Sedang
2	79.254	16.1	Rendah	0.04	Rendah
3	17.617	16.2	Rendah	0.04	Rendah
4	14.460	16.1	Rendah	0.04	Rendah
5	5.628	16.2	Rendah	0.04	Rendah
6	15.028	16	Rendah	0.04	Rendah
7	4.865	16.3	Rendah	0.04	Rendah
8	7.664	16.2	Rendah	0.04	Rendah
9	51.478	39.9	Tinggi	0.11	Tinggi
10	1.774	14.7	Rendah	0.04	Rendah
11	6.495	16.3	Rendah	0.04	Rendah
12	16.228	16.1	Rendah	0.04	Rendah
13	5.699	16.1	Rendah	0.04	Rendah
14	1.280	49.8	Tinggi	0.14	Tinggi
15	4.256	49.9	Tinggi	0.14	Tinggi
16	45.237	26.5	Sedang	0.07	Sedang
17	4.865	26.2	Sedang	0.07	Sedang

Subdas	Luas Subdas (km ²)	Debit Rerata Tahunan		Debit Rerata Harian	
		m ³ /s/km ²	Klasifikasi	m ³ /s/km ²	Klasifikasi
18	8.799	26.5	Sedang	0.07	Sedang
19	3.620	50	Tinggi	0.14	Tinggi
20	1.707	25.7	Sedang	0.07	Sedang
21	2.249	25.9	Sedang	0.07	Sedang
22	6.103	26.4	Sedang	0.07	Sedang
23	2.925	26.2	Sedang	0.07	Sedang
24	18.706	26.1	Sedang	0.07	Sedang
25	5.971	42.5	Tinggi	0.12	Tinggi
26	5.744	42.5	Tinggi	0.12	Tinggi
27	5.494	42.4	Tinggi	0.12	Tinggi
28	2.819	42.3	Tinggi	0.12	Tinggi
29	4.320	42.5	Tinggi	0.12	Tinggi
30	3.226	42.2	Tinggi	0.12	Tinggi
31	3.340	49.9	Tinggi	0.14	Tinggi
32	2.572	50	Tinggi	0.14	Tinggi
33	3.418	49.9	Tinggi	0.14	Tinggi
34	2.311	50.1	Tinggi	0.14	Tinggi
35	3.316	49.8	Tinggi	0.14	Tinggi
36	1.468	14.4	Rendah	0.04	Rendah

Model HEC-HMS menghitung debit aliran dari suatu *cathment area* berdasarkan beberapa komponen utama, yaitu curah hujan, limpasan permukaan, dan *baseflow* (Scharffenberg, 2013). Penggunaan model HEC-HMS di penelitian ini lebih ditekankan untuk analisis banjir, sehingga komponen limpasan permukaan akan dibahas mendalam. Menurut Linsley *at al* (1975), limpasan permukaan merupakan komponen utama penyumbang banjir dibandingkan dengan *interflow* dan *baseflow*. Perhitungan limpasan permukaan yang digunakan di pemodelan ini adalah SCS CN. SCS CN menghitung limpasan permukaan berdasarkan parameter curah hujan, penggunaan lahan, karakteristik tanah, dan morfometri DAS. Oleh karena itu, parameter-parameter tersebut akan digunakan untuk menganalisis subdas penyumbang debit tinggi.

Gambar 3.4. Klasifikasi Debit Aliran Sungai pada DAS Cimanuk Hulu

3.3. Sebaran Curah Hujan

Hujan wilayah dengan metode isohyet di DAS Cimanuk Hulu (Gambar 3.5) menggunakan data curah hujan 5 tahun (2009-2013) dari Stasiun Tarogong, Pamegatan, Kepakan, dan Pangauban. Rerata hujan lima tahunan tertinggi antara 2941-3154 mm berada di sekitar Gunung Papandayan, yaitu di Kecamatan Cikajang dan Banjarwangi. Curah hujan semakin berkurang ke arah utara mengikuti topografi yang semakin landai.

Curah hujan rerata lima tahunan terendah berada di Kecamatan Cisirupan antara 1022-1236 mm.

Gambar 3.5. Sebaran Curah Hujan DAS Cimanuk Hulu (2009-2013)

3.4. Sebaran Nilai CN

Gambar 3.6. Peta CN DAS Cimanuk Hulu

Gambar 3.6 menunjukkan persebaran nilai CN pada wilayah kajian. Peta tersebut menunjukkan tiga range nilai CN yang dominan, yaitu 60-70, 70-80, dan 80-90. Seluruh wilayah hulu (kawasan Gunung Satria, Cikuray, Papandayan dan Guntur) memiliki nilai CN 70-80 yang berarti cukup tinggi. Wilayah disekitar hulu Cikuray-Papandayan bahkan memiliki nilai 80-90. Hal ini menjadi penting mengingat konsep hulu merupakan daerah resapan atau penyangga. Nilai-nilai CN tersebut menunjukkan bahwa

kawasan hulu tidak mampu meresapkan air. Keadaan ini diartikan kawasan hulu dapat menjadi penyumbang limpasan tinggi ketika terjadi hujan lebat. Penyebab tingginya nilai CN tersebut dapat dianalisis berdasarkan parameter perhitungannya, yaitu curah hujan, penggunaan lahan, karakteristik tanah, dan morfometri DAS (Arsyad, 2010).

Gambar 3.7. Peta Penggunaan Lahan DAS Cimanuk Hulu

Peta penggunaan lahan pada Gambar 3.7 menunjukkan bahwa pertanian merupakan yang paling dominan. Aktivitas pertanian tersebut dapat menjadi salah satu penyebab tingginya nilai CN permukaan di seluruh kawasan hulu (Gambar 3.6). Menurut Strahler (2011), pengolahan lahan pertanian dapat merubah sifat fisik tanah yang menyebabkan

kemampuan meloloskan air menjadi berkurang. Tutupan vegetasi pada pertanian yang tidak rapat menyebabkan air hujan secara langsung jatuh pada permukaan tanah. Hal tersebut memicu erosi percik yang dapat menutup pori-pori tanah, sehingga kemampuan tanah meloloskan air berkurang. Teknik pengolahan lahan, penggunaan jenis pupuk, dan jenis tanaman pertanian juga merupakan faktor penting dalam menganalisis limpasan permukaan. Pembahasan mengenai hal tersebut akan diperdetail dibawah. Sementara itu, karakteristik tanah merupakan faktor kunci selain penggunaan lahan ketika menganalisis limpasan permukaan.

Tekstur (komposisi ukuran butir partikel-partikel) tanah adalah sifat fisik dasar yang memengaruhi karakteristik fisik lain (Sartohadi *at al*, 2012). Ukuran butir penyusun tanah dibedakan menjadi tiga, yaitu pasir, debu, dan lempung. Ketiga ukuran tersebut selalu menyusun komposisi tanah (tidak pernah berdiri sendiri).

Gambar 3.8 menunjukkan persebaran tekstur tanah permukaan di wilayah kajian. Perbedaan tekstur tanah di Gambar 3.8 dipengaruhi oleh posisi geografis, material dasar, dan pengolahan manusia (Strahler, 2011 dan Sartohadi *at al*, 2012). Analisis mendetail mengenai jenis tekstur tersebut dibahas pada laporan geomorfologi dan tanah.

Jenis tekstur tanah akan memengaruhi kemampuan tanah meloloskan air. Fraksi pasir memiliki ukuran partikel yang besar, sehingga membentuk pori makro dalam tanah (Sartohadi *at al*, 2011). Hal tersebut menyebabkan tanah mampu meloloskan air lebih baik daripada fraksi lempung. Berdasarkan konsep tersebut, jenis tekstur tanah tanah dapat diklasifikasikan menjadi *hydrological soil group* (HSG) tertentu (Tabel 3.2).

Tabel 3.2. *Hydrological Soil Group* (Wanielista *at al*, 1997)

Tekstur Tanah	<i>Soil Hydrologycal Group</i>
<i>sand, loamy sand, sandy loam</i>	A
<i>silt loam, loam</i>	B
<i>sandy clay loam</i>	C
<i>clay, clay loam, silty clay loam, sandy clay, silty clay</i>	D

Gambar 3.9 menunjukkan persebaran HSG di wilayah kajian. HSG A memiliki kemampuan meloloskan air paling baik, sedangkan D yang paling buruk. Gambar

tersebut menunjukkan bahwa wilayah hulu Gunung Papandayan dan Cikuray didominasi HSG D.

Gambar 3.8. Peta Tekstur Tanah DAS Cimanuk Hulu

3.5. Karakteristik DAS Prioritas

3.5.1. Kondisi Subdas 9

Tekstur tanah mayoritas di subdas 9 adalah *loam* (geluh) dengan persentase 38,7% (Gambar 3.13). Jenis tekstur geluh memiliki ikatan antar partikel yang sedang sehingga

air cukup mudah meresap. Oleh karena itu tekstur tanah ini sangat cocok digunakan untuk lahan pertanian. Kekurangan dari tekstur tanah ini adalah mudah tererosi. Hal ini juga dipicu dengan adanya tekstur lain yang cukup mendominasi yaitu geluh berpasir (27,7%). Kondisi antar partikel tanah yang tidak terikat kuat menyebabkan tanah akan mudah tererosi mengikuti aliran air.

Gambar 3.9. Peta HSG DAS Cimanuk Hulu

Parameter morfometri DAS (Tabel 3.3) juga penting untuk dilihat sebagai salah satu alasan untuk memperkuat argumen yang sudah digambarkan oleh parameter lain.

Parameter waktu konsentrasi (Tlag) dan kerapatan aliran pada subdas 9 dapat digunakan untuk menggambarkan hubungan morfometri DAS dengan debit aliran permukaan yang dihasilkan. Subdas 9 memiliki kerapatan aliran yang tinggi dengan nilai 3,19 km/km². Hal ini ditunjukkan dengan banyaknya cabang sungai yang ada. Kerapatan aliran yang tinggi menunjukkan material yang ada mudah tererosi dan kurang bisa menyerap air.

Gambar 3.10. Penggunaan lahan hutan, tegalan, kebun kopi Gunung Papandayan

Gambar 3.11. Teknik konservasi lahan tumpangsari (vegetatif)

Gambar 3.12. Persentase Luas Penggunaan Lahan dan Tekstur Tanah Subdas 9

Waktu konsentrasi pada sebuah DAS 9 termasuk kelas sedang dengan nilai sebesar 3,96 menit/km. Waktu konsentrasi dipengaruhi salah satunya oleh panjang sungai utama

dan kemiringan DAS. Subdas 9 memiliki panjang sungai utama yaitu 13,62 km dan kemiringan DAS sebesar 2,58%. Berdasarkan hal tersebut maka waktu konsentrasi sangat dipengaruhi oleh panjang sungai utama yang cukup panjang. Semakin panjang dan miring suatu DAS maka akan meningkatkan waktu konsentrasi dan pada akhirnya akan memengaruhi kejadian banjir.

Tabel 3.3. Morfometri DAS Cimanuk Hulu

SubDAS	Time Lag			Panjang Sungai Utama (km)	Kemiringan DAS (%)	Kerapatan Aliran	
	menit	menit/km	kelas			km/km2	kelas
1	141.5	5.11	Rendah	27.66	2.43	2.32	Sedang
2	90.3	4.22	Rendah	21.41	1.98	2.96	Sedang
3	41.8	3.71	Sedang	11.27	2.16	3.58	Tinggi
4	44.1	4.39	Rendah	10.06	3.13	2.72	Sedang
5	35.3	4.66	Rendah	7.57	2.05	2.76	Sedang
6	53.0	3.99	Sedang	13.28	3.77	2.61	Sedang
7	21.9	3.25	Sedang	6.75	2.75	3.04	Sedang
8	31.6	4.09	Sedang	7.73	2.28	2.76	Sedang
9	54.0	3.97	Sedang	13.62	2.58	3.17	Tinggi
10	7.8	2.75	Tinggi	2.86	6.26	2.84	Sedang
11	31.3	4.05	Sedang	7.74	1.98	2.15	Rendah
12	58.2	4.54	Rendah	12.82	2.16	2.65	Sedang
13	13.1	3.25	Sedang	4.04	3.66	2.11	Rendah
14	7.2	2.81	Tinggi	2.57	13.56	3.92	Tinggi
15	11.4	2.24	Tinggi	5.10	8.44	3.11	Sedang
16	54.4	3.42	Sedang	15.89	1.93	2.58	Sedang
17	37.5	3.54	Sedang	10.60	2.64	3.71	Tinggi
18	23.7	2.52	Tinggi	9.38	3.09	2.83	Sedang
19	6.8	1.77	Tinggi	3.88	14.37	1.98	Rendah
20	6.5	2.10	Tinggi	3.09	13.50	2.34	Sedang
21	13.0	3.50	Sedang	3.73	7.32	2.62	Sedang
22	16.9	2.81	Tinggi	6.03	4.24	1.31	Rendah
23	16.5	3.06	Sedang	5.41	6.17	2.48	Sedang
24	75.7	5.41	Rendah	13.99	2.85	2.63	Sedang
25	22.2	3.56	Sedang	6.24	2.57	2.61	Sedang
26	17.7	2.90	Tinggi	6.09	2.91	2.68	Sedang
27	24.1	3.81	Sedang	6.33	2.60	2.68	Sedang
28	15.5	2.63	Tinggi	5.91	3.71	2.77	Sedang
29	13.0	2.79	Tinggi	4.66	3.06	2.98	Sedang
30	25.2	3.59	Sedang	7.00	3.09	3.87	Tinggi
31	15.4	2.90	Tinggi	5.31	4.46	3.37	Tinggi
32	13.0	2.73	Tinggi	4.76	4.98	4.03	Tinggi
33	6.0	2.07	Tinggi	2.90	9.41	2.69	Sedang
34	3.9	2.12	Tinggi	1.83	21.81	3.19	Tinggi
35	9.0	2.36	Tinggi	3.82	9.94	3.51	Tinggi
36	4.6	1.79	Tinggi	2.58	8.37	1.76	Rendah

3.5.2. Kondisi Subdas 14

Sawah menjadi penggunaan lahan yang mendominasi di subdas 14, yaitu sebesar 99,12 % (Gambar 3.13). Hal ini sangat logis karena subdas 14 terletak di lembah sungai diantara dua pegunungan. Kondisi tanah dan air yang ada sangat mendukung untuk dilakukan pertanian padi.

Gambar 3.13. Persentase Luas Penggunaan Lahan dan Jenis Tekstur Tanah Subdas 14

Kondisi pertanian didukung pula oleh tekstur tanah geluh berpasir (84,5%) yang sangat cocok untuk padi (Gambar 3.13). Tekstur tanah geluh berpasir selain menjadi media tanam yang baik juga memiliki kekurangan. Karakter dari tanah tersebut yang didominasi oleh geluh adalah tanah memiliki porositas dan laju infiltrasi yang sedang. Namun, tanah dengan tekstur ini tidak mampu memegang air yang lebih lama sehingga air akan cepat dilepaskan menjadi aliran permukaan. Penggunaan lahan sawah yang mendominasi akan menyumbang aliran permukaan yang besar. Lahan sawah yang sudah jenuh air tidak akan mampu lagi menyerap air hujan yang jatuh, sehingga air hujan akan menjadi aliran permukaan.

Perilaku pengolahan lahan juga perlu diperhatikan untuk mendapatkan analisis limpasan permukaan yang akurat. Pada subdas 14, lahan-lahan pertanian berada di daerah yang relatif datar (Gambar 3.14). Tidak ditemukan upaya konservasi lahan yang signifikan. Petani mengolah lahan dengan cara konvensional. Hal ini akan memperparah kondisi lahan dan juga kondisi aliran permukaan.

Gambar 3.14. Penggunaan lahan sawah dan kebun dengan sistem terasering
(dokumentasi pribadi, 2016)

Parameter waktu konsentrasi dan kerapatan aliran pada subdas 14 dapat digunakan untuk menggambarkan hubungan morfometri DAS dengan debit aliran permukaan yang dihasilkan (Tabel 3.3). Subdas 14 memiliki kerapatan aliran yang tinggi dengan nilai 3,92 km/km² yang ditunjukkan dengan banyaknya cabang sungai. Waktu konsentrasi pada sebuah DAS dipengaruhi oleh panjang sungai utama dan kemiringan DAS. Subdas 14 memiliki panjang 2,57 km dan waktu konsentrasi sebesar 2,807 menit/km, waktu konsentrasi tersebut tergolong cepat karena dengan waktu 2,807 menit air bisa melaju pada setiap kilometer. Waktu konsentrasi selain dipengaruhi oleh panjang sungai utama dapat juga dipengaruhi oleh kemiringan DAS. Kemiringan DAS pada subdas 14 sebesar 13.56%, angka ini termasuk sangat tinggi. Berdasarkan hal tersebut dapat disimpulkan bahwa dengan panjang sungai yang pendek dan kemiringan DAS yang tinggi dapat menyumbang waktu konsentrasi aliran yang cepat.

3.5.3. Kondisi Subdas 15

Tekstur tanah di subdas 15 didominasi oleh geluh berpasir yang cocok untuk pertanian padi (Gambar 3.15). Tekstur tanah geluh berpasir mampu menyerap air dengan cukup baik. Meskipun demikian, penggunaan lahan yang berupa pertanian padi akan menyebabkan air mudah tergenang. Lahan pertanian tersebut tergolong mendominasi dengan menempati wilayah sebesar 85% (Gambar 3.15) Kondisi ini menjadikan air hujan mudah menjadi limpasan permukaan.

Subdas 15 memiliki kerapatan aliran yang tinggi dengan nilai 3,11 km/km² (Tabel 3.3). Kerapatan aliran yang tinggi menunjukkan material yang ada mudah tererosi dan

kurang bisa menyerap air. Setiap hujan yang jatuh sebagian besar akan menjadi aliran permukaan. Semakin rapat aliran sungai pada suatu wilayah maka aliran permukaan juga semakin besar.

Gambar 3.15. Persentase Luas Penggunaan Lahan dan Jenis Tekstur Tanah Subdas 15

Gambar 3.16. Penggunaan lahan sawah dengan sistem terasering (dokumentasi pribadi, 2016)

Subdas 15 memiliki waktu konsentrasi sebesar 2,4 menit/km. Nilai ini tergolong cepat karena setiap satu kilometer aliran air melaju selama 2,4 menit untuk sampai ke hulu. Semakin singkat waktu konsentrasi menggambarkan semakin cepat aliran permukaan yang terjadi sejak awal hujan hingga selesai dari hulu ke outlet subdas.

3.5.4. Kondisi Subdas 19

Pertanian menjadi penggunaan lahan yang mendominasi dengan total persentase sebesar 76,3% (Gambar 3.17). Penggunaan lahan lain yang memiliki persentase tinggi adalah permukiman, yaitu sebesar 16,1%. Kedua penggunaan lahan tersebut cenderung memiliki nilai CN tinggi, sehingga mengakibatkan limpasan permukaan berpotensi besar.

Gambar 3.17. Persentase Luas Penggunaan Lahan dan Jenis Tekstur Tanah Subdas 19

Gambar 3.18 Penggunaan lahan sawah dan kebun palawija ditanam berdampingan
(dokumentasi pribadi, 2016)

Gambar 3.17 menunjukkan tekstur tanah di Subdas 19 didominasi oleh lempung berdebu (43, 69%), geluh berpasir (32,41%), dan geluh berlempung (23,89%). Karakter tanah lempung berdebu yang didominasi oleh lempung memiliki ukuran partikel yang halus. Partikel yang halus memiliki luas permukaan yang kecil, sehingga kemampuan meloloskan air juga kecil. Hal tersebut dipicu pula dengan gaya tarik menarik antar partikel tanah yang sangat kuat, sehingga tingkat permeabilitas rendah. Akibatnya, air hujan yang jatuh akan sulit meresap ke dalam tanah, sehingga akan sangat mudah menjadi aliran permukaan.

Perilaku pengolahan lahan juga perlu diperhatikan untuk memperoleh analisis limpasan permukaan yang akurat. Pada subdas 19 lahan-lahan pertanian ditanami palawija dengan kemiringan lereng yang tinggi (Gambar 3.18). Selain itu, penggunaan

mulsa plastik sebagai penutup lahan palawija juga ikut memperparah keadaan (Gambar 3.19). Kombinasi tersebut (penanaman palawija di lereng tinggi, tidak adanya upaya konservasi lahan dan penggunaan mulsa plastik) menjadi pemicu semakin cepat laju erosi dan terbentuknya limpasan permukaan.

Gambar 3.19 Lahan palawija yang ditanam dengan mulsa plastik (dokumentasi pribadi, 2016)

Parameter morfometri DAS juga penting untuk dilihat sebagai salah satu alasan untuk memperkuat argumen yang sudah digambarkan dengan parameter lain (Tabel 3.3). Subdas 19 memiliki kerapatan aliran yang tinggi dengan nilai $1,98 \text{ km/km}^2$ ditunjukkan dengan banyaknya cabang sungai yang ada. Hal ini menunjukkan material yang ada mudah tererosi dan kurang bisa menyerap air. Waktu konsentrasi pada sebuah DAS dipengaruhi oleh panjang sungai utama dan kemiringan DAS. Subdas 19 memiliki panjang 3,88 km dengan waktu konsentrasi (T lag) sebesar 1,76 menit/km. Nilai tersebut tergolong sangat cepat karena hanya dalam waktu 1,76 menit aliran sudah mampu mengalir sejauh satu kilometer. Semakin singkat waktu konsentrasi menggambarkan semakin cepat aliran permukaan yang terjadi sejak awal hujan hingga selesai dari hulu ke outlet subdas. Hal itu juga menggambarkan bahwa sebagian besar hujan yang jatuh langsung menjadi aliran permukaan. Parameter kemiringan DAS juga menjadi parameter penting yang menyebabkan waktu konsentrasi subdas 19. Kemiringan DAS subdas 19 sebesar 14,37%, angka tersebut termasuk tinggi. Semakin miring DAS maka laju aliran akan semakin cepat sehingga sangat memengaruhi waktu konsentrasi aliran hingga sampai ke hilir.

3.5.5. Kondisi Subdas 25

Subdas 25 memiliki penggunaan lahan yang didominasi oleh sawah dengan persentase luas yaitu 77% (Gambar 3.20). Persentase penggunaan lahan yang lain adalah hutan 13%, permukiman dan tegalan yang masing-masing sebesar 5%. Tingginya debit dan limpasan permukaan yang dihasilkan dari subdas ini dipicu pula oleh pola masyarakat dalam mengolah lahan untuk aktivitas pertanian di lereng gunung Cikuray. Hal tersebut dipicu pula dengan kondisi tekstur tanah di subdas 25 yang didominasi oleh geluh sebesar 54%. Persentase tekstur tanah lain yang ada di subdas 25 adalah lempung (29%), geluh berlempung (8%), pasir (7%), dan geluh berpasir (2%). Tekstur geluh memiliki daya ikat antar partikel tanah yang cukup rendah sehingga air hujan yang jatuh pada tanah akan terinfiltrasi. Dominasi tekstur geluh membuat lahan di Subdas 25 banyak digunakan sebagai lahan sawah dan tegalan, karena tanah dengan tekstur geluh bersifat remah dan mudah mengikat air. Namun, tanah tipe ini mudah tererosi yang didukung oleh kemiringan lereng sebesar 30%.

Gambar 3.20. Persentase Luas Penggunaan Lahan dan Jenis Tekstur Tanah Subdas 25

Morfometri DAS juga memengaruhi besarnya nilai debit dan tebal limpasan permukaan yang terjadi di Subdas 25, yaitu *time of concentration* (T lag), gradien sungai dan kerapatan aliran (Tabel 3.3). Nilai T lag pada subdas 25 adalah 3,56 menit/km. Hal tersebut menunjukkan bahwa aliran air membutuhkan waktu 3,56 menit untuk menempuh jarak satu kilometer. Nilai tersebut menunjukkan waktu tempuh aliran dari hulu ke hilir tergolong cepat untuk subdas dengan luasan 5,97 km². Cepatnya waktu konsentrasi tersebut menyebabkan air dari hulu akan terkonsentrasi di bagian hilir lebih cepat. Sementara itu nilai kerapatan aliran pada subdas 25 tergolong sedang yaitu

sebesar 2,61 km/km². Nilai ini menunjukkan bahwa aliran permukaan banyak membawa material sedimen akibat tingkat resistensi batuan yang lebih lunak. Subdas 25 yang terletak di lereng gunungapi Cikuray mendapatkan pasokan material vulkanik. Gradien sungai terklasifikasi tinggi dengan nilai 0,11 yang menyebabkan potensi banjir di bagian hilir tinggi. Hal itu disebabkan karena kecepatan aliran dari hulu ke hilir akan semakin cepat sehingga lebih cepat mencapai bagian hilir.

3.5.6. Kondisi Subdas 26

Penggunaan lahan yang terdapat di Subdas 26 adalah hutan, permukiman, tegalan, dan sawah. Luas lahan sawah lebih mendominasi dengan persentase luas mencapai 67%, kemudian disusul permukiman sebesar 14% (Gambar 3.21).

Gambar 3.21. Persentase Luas Penggunaan Lahan dan Jenis Tekstur Tanah Subdas 26

Kondisi tekstur tanah di Subdas 26 persentasenya adalah 47,1% *loam*, 38,2% *clay*, 14,5% *clay loam*, dan 0,2% *sand* (Gambar 3.21). Tingginya persentase tanah dengan tekstur *loam* dan *clay* menyebabkan nilai limpasan permukaan banyak terbentuk. Hal ini disebabkan persentase tanah dengan tekstur *clay* lebih banyak sehingga air hujan yang jatuh di tanah tersebut akan banyak yang menjadi aliran permukaan. Tekstur *clay* memiliki karakteristik tanah yang mudah jenuh oleh air akibat daya ikat antar partikel tanah yang sangat kuat.

Waktu konsentrasi aliran dari hulu ke hilir memakan waktu sekitar 2,89 menit/km (Tabel 3.3). Nilai tersebut menunjukkan bahwa air yang ada di hulu memerlukan waktu

yang cepat untuk mencapai bagian hilir. Hal itu disebabkan aliran air membutuhkan waktu 2,89 menit untuk menempuh lintasan aliran sepanjang satu kilometer. Hasil perhitungan kerapatan aliran subdas 26 menunjukkan nilai 2,68 km/km². Nilai tersebut tergolong sedang, yang artinya tidak banyak percabangan sungai pada subdas 26 sehingga respon terhadap hujan yang turun tidak cepat. Gradien sungai di subdas 26 tergolong rendah yaitu 0,09, sehingga subdas 26 memiliki potensi banjir sedang.

3.5.7. Kondisi Subdas 27

Gambar 3.22. Persentase Luas Penggunaan Lahan dan Jenis Tekstur Tanah Subdas 27

Subdas 27 memiliki luasan sebesar 5,49 km². Penggunaan lahan yang dominan terdapat di subdas 27 adalah sawah dengan persentase luas lahannya 48%, disusul dengan permukiman 27% (Gambar 3.22). Kondisi tanah yang terdapat di subdas ini didominasi oleh geluh dengan persentase luasan tekstur tanah 33%. Persentase luasan tekstur tanah yang lain yaitu 31% geluh berlempung, 18% lempung, 11% pasir, dan 7% geluh berpasir. Kondisi tersebut berpengaruh terhadap nilai CN karena berkaitan dengan kemampuan tanah dalam menyerap air. Konsentrasi lempung yang terdapat di subdas 27 menyebabkan air hujan yang jatuh di tanah sebagian besar akan menjadi limpasan permukaan akibat tanah yang mudah jenuh.

Tingginya limpasan permukaan dan debit aliran yang dihasilkan pada Subdas 27 menyebabkan potensi banjir di bagian hilir tinggi (Tabel 3.3). Hal ini dipicu pula oleh gradien sungai yang tergolong tinggi yaitu 0,15. Aliran air dari hulu ke hilir semakin cepat akibat adanya gaya gravitasional. Dampak lain dari tingginya nilai gradien sungai

adalah banyak terjadi erosi dan angkutan sedimen dalam aliran air. Hal itu juga menyebabkan waktu konsentrasi aliran cepat yaitu 3,81 menit/km, artinya waktu yang dibutuhkan air mengalir dari bagian hulu ke hilir setiap satu kilometer adalah 3,81 menit. Nilai tersebut juga berkorelasi dengan nilai kerapatan aliran yang menunjukkan nilai sedang yaitu 2,68 km/km². Hal tersebut disebabkan oleh tidak banyaknya cabang sungai sehingga respon sungai terhadap hujan sedang.

3.5.8. Kondisi Subdas 28

Luas Subdas 28 tergolong kecil yaitu sebesar 2,82 km². Penggunaan lahan yang dominan pada subdas ini adalah sawah dengan persentase luas 74,5% (Gambar 3.23). Perilaku masyarakat yang memanfaatkan lahan di lereng gunung sebagai sawah juga memicu terjadinya limpasan permukaan dan erosi tanah. Karakteristik fisik tanah dari segi tekstur di subdas 28 didominasi oleh lempung dengan persentase luas tekstur 54%. Tekstur lain memiliki persentase 25% untuk geluh berlempung dan 21% untuk lempung. Tekstur geluh dan lempung membuat mudah terbentuknya aliran permukaan ketika hujan turun pada tanah, karena sifat tanah yang mudah jenuh oleh air.

Gambar 3.23. Persentase Luas Penggunaan Lahan dan Jenis Tekstur Tanah Subdas 28

Subdas 28 tergolong sebagai subdas prioritas juga disebabkan karena morfometri DAS yang memicu terjadinya banjir (Tabel 3.3). Hal tersebut dipicu oleh gradien sungai yang tergolong sedang dengan nilai 0,9. Nilai tersebut berkorelasi dengan kecepatan aliran dari hulu ke hilir dan waktu konsentrasi aliran. Sementara itu, nilai kerapatan aliran subdas 28 tergolong sedang yaitu 2,77 km/km² yang menunjukkan respon DAS

terhadap hujan sedang. Respon DAS terhadap hujan juga ditunjukkan dengan nilai konsentrasi aliran (T lag) sebesar 2,63 menit/km. Waktu tersebut tergolong cepat untuk ukuran subdas yang hanya seluas 2,82 km². Potensi banjir terjadi di subdas 28 juga disebabkan oleh kemiringan lereng yang lebih tinggi dibanding subdas lain yaitu 30%. Kondisi tersebut yang didukung oleh perilaku masyarakat dalam menggunakan lahan di lereng, kondisi tekstur tanah, dan gradien sungai menyebabkan potensi banjir di bagian hilir lebih besar.

3.5.9. Kondisi Subdas 29

Gambar 3.24. Persentase Luas Penggunaan Lahan dan Jenis Tekstur Tanah Subdas 29

Luas subdas 29 sebesar 4,32 km². Penggunaan lahan subdas 29 didominasi oleh sawah dan permukiman dengan persentase luas 76,4% dan 18,6% (Gambar 3.24). Perilaku masyarakat yang melakukan aktivitas pertanian di lereng Gunung Cikuray menyebabkan proses limpasan permukaan terjadi secara signifikan karena belum semua melakukan upaya konservasi lahan. Kondisi tekstur tanah di Subdas 29 didominasi oleh geluh lempungan dengan persentase sebesar 42,6%. Kondisi tekstur tanah tersebut menyebabkan air hujan yang turun akan mudah menjadi limpasan permukaan karena tanah yang mudah jenuh oleh air. Hal itu juga dipicu oleh perilaku masyarakat dalam mengelola sawah mereka. Sawah di subdas ini sebagian besar dikerjakan di lereng miring (30%) sehingga semakin memicu terjadinya limpasan permukaan yang sekaligus membawa angkutan sedimen berupa tanah.

Morfometri DAS yang berkontribusi terhadap tingginya kemungkinan kejadian banjir adalah gradien sungai dan panjang sungai (Tabel 3.3). Nilai gradien sungai subdas 29 tergolong tinggi yaitu 0,12. Nilai tersebut menunjukkan kemiringan sungai yang berdampak pada laju aliran dari hulu ke hilir, semakin tinggi nilainya kecepatan aliran dari hulu ke hilir semakin cepat. Hal tersebut dapat berdampak pada waktu konsentrasi aliran yang semakin cepat. Sementara itu untuk waktu konsentrasi aliran subdas 29 adalah 2,79 menit/km yang menunjukkan waktu yang cepat. Hal ini dibuktikan dengan nilai kerapatan aliran yang juga rendah yaitu 2,98 km/km². Sedikitnya cabang sungai yang terdapat pada subdas 29 menyebabkan respon DAS terhadap hujan rendah.

3.5.10. Kondisi Subdas 30

Penggunaan lahan di Subdas 30 masih cukup banyak terdapat vegetasi yang didominasi oleh sawah (65%) dan hutan (28%), sedangkan keberadaan permukiman sebagai bentuk penggunaan lahan yang *impermeable* hanya berkisar 5% (Gambar 3.25). Penggunaan lahan yang didominasi berupa sawah menandakan bahwa sebagian besar penduduknya bekerja sebagai petani dan lahannya telah tergarap. Tekstur tanahnya di wilayah ini bervariasi yaitu pasir, lempung dan geluh dengan persentase terbesar adalah geluh yaitu 45%. Tanah bertekstur pasir berada di bagian kerucut gunungapi karena masih sangat terpengaruh aktivitas vulkanis, sedangkan tekstur lempungan ditemukan di sekitar lembah sungai. Meskipun begitu tekstur tanah yang mendominasi adalah geluh yang berarti sangat baik dalam meresapkan air.

Gambar 3.25. Persentase Luas Penggunaan Lahan dan Jenis Tekstur Tanah Subdas 30

Nilai debit rerata harian dari tahun 2009 hingga 2013 di setiap km² yang dihasilkan oleh Subdas 30 adalah 42,2 m³/s/km² dengan nilai hujan rerata tahunan mencapai 2310

mm/tahun. Subdas 30 memiliki morfometri DAS dengan kemiringan rata-rata DAS 3,09% sehingga morfologinya sebagian besarnya berupa datar-landai Tabel 3.3). Tingginya nilai CN yang mencapai 75,81 menandakan bahwa respon hidrologi pada Subdas 30 menjadikan hujan yang turun sebagian besar menjadi limpasan permukaan, didukung dengan besarnya curah hujan maka debit yang dihasilkan oleh Subdas 30 cukup besar. Subdas 30 memiliki waktu konsentrasi sedang yaitu 5,1 menit/km, yang tergolong sedang sehingga tidak begitu berpotensi berkontribusi dalam terjadinya banjir bandang. Akan tetapi nilai kerapatan alirannya 3,87 km/km² yang tergolong tinggi dapat menyebabkan aliran cepat terakumulasi dalam tubuh sungai.

3.5.11. Kondisi Subdas 31

Gambar 3.26. Persentase Luas Penggunaan Lahan dan Jenis Tekstur Tanah Subdas 31

Subdas 31 terletak di lereng Gunung Cikuray dengan penutup lahan yang mendominasi berupa vegetasi mulai dari sawah (52%), hutan (33%), perkebunan (5%), dan semak belukar (3%) (Gambar 3.26). Persentase penggunaan lahan permukiman di Subdas 31 lebih tinggi dibandingkan Subdas 30 meskipun tidak terlalu jauh, yaitu di angka 7%. Aktivitas penduduk di SubDAS 31 pun juga didominasi oleh petani yang menggarap lahannya. Tekstur tanah yang mendominasi berupa geluh (74%) yang cukup subur sehingga memang cocok digunakan untuk sawah, selain itu tekstur geluh memiliki kemampuan yang cukup baik dalam meresapkan air. Selain geluhan, persentase tanah dengan tekstur pasir cukup banyak karena mencapai nilai 22%.

Subdas 31 memiliki debit rerata harian sebesar 49,9 m³/s/km² dari tahun 2009 hingga tahun 2013 dengan nilai curah hujan rerata 3201 mm/tahun. Parameter morfologi

yang menunjukkan Subdas 31 menyumbang banjir di hilir ditunjukkan pada Tabel 3.3. Subdas 31 memiliki nilai kemiringan rerata Subdas 4,46% yang rendah sehingga kecepatan aliran dalam sungai lambat. Namun waktu konsentrasinya tergolong cepat disebabkan memiliki waktu 2,9 menit/km yang berarti memiliki potensi berkontribusi dalam terjadinya banjir bandang. Nilai kerapatan alirannya pun tergolong tinggi yaitu $3,37 \text{ km/km}^2$ sehingga menyebabkan aliran cepat terkonsentrasi di sungai.

3.5.12. Kondisi Subdas 32

Gambar 3.27. Persentase Luas Penggunaan Lahan dan Jenis Tekstur Tanah Subdas 32

Subdas 32 memiliki karakteristik lahan yang mirip dengan Subdas 31, hanya saja penggunaan lahan di Subdas 32 persentase semak belukarnya lebih mendominasi dibandingkan dengan sawahnya, yaitu 54% (Gambar 3.27). Jika ditinjau dari kondisi tekstur tanahnya yang juga didominasi oleh geluhan (70%) maka seharusnya lahan di Subdas 32 dapat digunakan sebagai sawah oleh masyarakat di sekitarnya. Namun, dimungkinkan karena tiadanya pengelolaan yang cukup intensif dari masyarakatnya maka penggunaan lahan di sekitar Subdas 32 sebagian besar masih berupa semak belukar.

Berdasarkan Tabel 3.3, subdas 32 memiliki waktu tiba banjir atau waktu konsentrasi yang cukup cepat dengan durasi 2,7 menit/km. Hal itu menunjukkan bahwa aliran permukaan dari hulu ke hilir membutuhkan waktu 2,7 menit untuk menempuh jarak sepanjang satu kilometer. Kondisi tersebut menyebabkan potensi terjadinya banjir bandang lebih tinggi. Hal itu juga didukung dengan tingkat kemiringan sungai yang

sedang yaitu 0,08. Sementara itu, tingkat kerapatan aliran tergolong tinggi dengan nilai 4,03 km/km². Sehingga aliran akan cepat terakumulasi di bagian hilir.

3.5.13. Kondisi Subdas 33

Gambar 3.28. Persentase Luas Penggunaan Lahan dan Jenis Tekstur Tanah Subdas 33

Penggunaan lahan di Subdas 33 terdiri dari semak belukar, sawah, dan permukiman dan persentase luas semak belukar lebih mendominasi yaitu 48%. Sementara itu luasan persentase sawah sebesar 45% (Gambar 3.28). Material yang terdapat pada Subdas 33 sebagian besar masih berasal dari Gunung Cikuray namun juga terdapat material tuff, breksi, dan lava. Hal itu menyebabkan karakteristik tanah yang dominan berupa geluh (84%) dengan tambahan sedikit debu berlempung dan pasir.

Subdas 33 memiliki potensi untuk berkontribusi terhadap terjadinya banjir bandang di DAS Cimanuk Hulu disebabkan waktu konsentrasinya sangat cepat yaitu 2,07 menit/km (Tabel 3.3). Hal itu berdampak pada aliran permukaan akan cepat terakumulasi di bagian *outlet*-nya. Cepatnya aliran air dari hulu ke hilir dipicu pula dengan kondisi kemiringan sungai sebesar 0,03. Meskipun demikian, nilai kerapatan alirannya tergolong dalam kelompok sedang dengan nilai 2,69 km/km² sehingga aliran air tidak begitu cepat terakumulasi dalam penampang sungai.

3.5.14. Kondisi Subdas 34

Penggunaan lahan di Subdas 34 terdiri dari tiga jenis yaitu permukiman, semak belukar, dan persawahan. Semak belukar (49%) dan persawahan (46%) mendominasi penggunaan lahan di Subdas 34 (Gambar 3.29). Hal tersebut berarti pengelolaan oleh

masyarakatnya dalam hal pertanian belum terlalu berjalan intensif. Kondisi tersebut berkorelasi dengan persentase tekstur tanahnya yang didominasi oleh lempung (72%) sehingga cukup sulit untuk diolah menjadi lahan pertanian.

Gambar 3.29. Persentase Luas Penggunaan Lahan dan Jenis Tekstur Tanah Subdas 34

Berdasarkan Tabel 3.3, subdas 34 mempunyai potensi untuk terjadi banjir bandang dikarenakan nilai waktu konsentrasinya cepat yaitu 2,12 menit/km. Nilai tersebut menunjukkan setiap satu kilometer waktu yang dibutuhkan aliran air adalah 2,12 menit. Waktu aliran air tersebut tergolong cepat sehingga aliran permukaan yang terdapat di Subdas 34 cepat terakumulasi di bagian outletnya. Kerapatan alirannya pun mendukung terjadinya banjir bandang dengan nilai 3,19 km/km² dan masuk ke dalam klasifikasi tinggi.

3.5.15. Kondisi Subdas 35

Gambar 3.30. Persentase Luas Penggunaan Lahan dan Jenis Tekstur Tanah Subdas 35

Kondisi aktual di lapangan menunjukkan bahwa subdas 35 terdiri dari berbagai penggunaan lahan. Pertanian menjadi penggunaan lahan yang mendominasi total penggunaan lahan di subdas 35 yaitu sebesar 98,23% (Gambar 3.30). Hal ini juga didukung oleh tekstur tanah geluh berpasir (*sandy loam*) yang sangat cocok untuk lahan pertanian.

Tekstur tanah geluh berpasir selain menjadi media tanam yang baik (subur) juga memiliki beberapa kekurangan. Karakter dari tanah geluh berpasir yang didominasi oleh pasir memiliki partikel kasar. Partikel yang kasar memiliki luas permukaan yang besar sehingga kemampuan meloloskan air tinggi. Namun selain kemampuan meloloskan air yang tinggi, tanah bertekstur geluh berpasir sangat rapuh dan mudah tererosi. Hal itu mengakibatkan air hujan yang jatuh akan mudah mengerosi tanah dan menghasilkan limpasan. Perilaku pengolahan lahan juga perlu diperhatikan untuk mendapatkan analisis limpasan permukaan yang akurat. Pada subdas 35 lahan-lahan pertanian ditanami palawija dengan kemiringan lereng yang tinggi. Penggunaan mulsa plastik sebagai penutup lahan palawija ikut memperparah keadaan. Ketiga kombinasi tersebut dapat mempercepat laju erosi dan limpasan permukaan (Gambar 3.31).

Gambar 3.31 Lahan pertanian “mulsa plastik” dengan kemiringan lereng tinggi
(dokumentasi pribadi, 2016)

Parameter morfometri DAS juga penting untuk dilihat sebagai salah satu alasan untuk memperkuat argumen yang sudah digambarkan oleh parameter lain. Parameter waktu konsentrasi dan kerapatan aliran pada subdas 35 dapat digunakan untuk

menggambarkan hubungan morfometri DAS dengan debit aliran permukaan yang dihasilkan (Tabel 3.3). Subdas 35 memiliki kerapatan aliran yang tinggi dengan nilai $3,51 \text{ km/km}^2$ ditunjukkan dengan banyaknya cabang sungai yang ada. Waktu konsentrasi pada sebuah DAS dipengaruhi oleh panjang sungai utama dan kemiringan DAS. Subdas 35 memiliki panjang 3,88 km dengan waktu konsentrasi sebesar 2,363 menit/km. Nilai tersebut tergolong cepat untuk waktu perjalanan air dalam satu kilometer pada sebuah subdas dengan panjang 3,88 km. Kemiringan DAS juga bisa dijadikan parameter pendukung untuk mempercepat waktu konsentrasi aliran. Subdas 35 memiliki kemiringan DAS sebesar 9,94%, dengan demikian semakin miring suatu DAS maka waktu konsentrasi akan semakin cepat dan pada akhirnya akan mempercepat terjadinya banjir.

IV. KESIMPULAN

1. Subdas prioritas berada di wilayah hulu Gunung Papandayan dan Cikuray. Hal tersebut ditunjukkan dengan besarnya limpasan permukaan, yaitu senilai $39,9 \text{ m}^3/\text{s/km}^2$ hingga $50,1 \text{ m}^3/\text{s/km}^2$ selama satu tahun. Hasil ini juga menunjukkan bahwa hulu dari DAS Cimanuk tidak dapat meresapkan air dengan baik, sehingga air hujan berpotensi langsung menjadi limpasan permukaan pada wilayah hulu.
2. Besarnya nilai limpasan permukaan pada wilayah hulu Gunung Papandayan dan Cikuray disebabkan oleh tingginya curah hujan, buruknya kemampuan tanah meloloskan air, dan morfometri DAS yang rawan terhadap banjir. Curah hujan rerata tahunan selama lima tahun menunjukkan nilai 2941-3154 mm. Wilayah ini didominasi oleh *hydrological soil group* bertipe D. Penggunaan lahan yang didominasi oleh pertanian juga menyebabkan kemampuan tanah meloloskan air rendah. Sementara itu, *time concentration* dan kerapatan aliran DAS didominasi oleh kelas sedang hingga tinggi. Kombinasi beberapa aspek tersebut menyebabkan wilayah hulu ini memiliki nilai limpasan permukaan tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Affandy, Nur Azizah, dan Anwar, Nadjadji. 2007. *Pemodelan Hujan Debit Menggunakan Model HEC-HMS di DAS Sampean Baru. Thesis*. Surabaya: Jursan Teknik Sipil, ITS.
- Arsyad, S. 2010. *Konservasi Tanah dan Air*. Bogor: IPB Press.
- Asdak, C. 2007. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press
- BNPB. 2014. *Indeks Risiko Bencana Indonesia Tahun 2013*. Bogor: Direktorat Pengurangan Risiko Bencana Deputi Bidang Pencegahan dan Kesiapsiagaan.
- BNPB. 2016. Data Bencana. Diakses dari <http://www.dibi.bnpb.go.id> pada 22 November 2016.
- Dibyosaputro, Suprpto. 1984. *Flood Susceptibility And Hazard Survey of The Kudus Prawata Welahan Area, Central Java, Indonesia. Thesis*. ITC, Enschede, Netherlands.
- Horton, R.E. 1932. *Drainage Basin Characteristics*. Transactions-American Geophysical Union, 13, 350-361.
- Indarto. 2010. *Hidrologi Dasar Teori dan Contoh Aplikasi Model Hidrologi*. Jakarta: PT Bumi Aksara.
- Kodatie, R.J, dan Sugiyanto. 2002. *Banjir: Beberapa Penyebab dan Metode Pengendalian Perspektif Lingkungan*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- Meon, G. 2006. *Past and Present Chalenges in Flash Flood Forcasting*. Germany: Dept. of Hydrology. Water Management and Water Protection, LWI, Technology, University of Brounschweig.
- Price, C. 2009. *Early Warning System to Predict Flash Flood*. Israel: Geophysics and Planetary Physics Department, Tel Aviv University.
- Sartohadi, J., Suratman., Jamulya., Dewi, N.I.S. 2012. *Pengantar Geografi Tanah*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- Scharffenberg, W.A. 2013. *Hydrologic Modelling System HEC-HMS User's Manual*. Washington: Hydrologic Engineering Center.
- Soewarno. 1991. *Hidrologi Pengukuran dan Pengolahan Data Aliran Sungai (Hidrometri)*. Bandung: Penerbit "Nova".
- Strahler, A. 2011. *Introduction to Physical Geography 5th edition*. New York: John Wiley & Sons.
- Sukiyah, E., Haryanto, A.D., dan Zakaria, Z. 2004. *Aplikasi Sistem Informasi Geografis dalam Penetapan Kawasan Rawan Banjir di Kabupaten Bandung Bagian Selatan*. Bandung:Unpad.
- Suprayogi, Slamet dan Werdiningsih. 2014. *Pengelolaan Sumberdaya Air untuk Mitigasi Bencana Keairan (Banjir-Kekeringan-Longsor)*. dalam Suprayogi, Slamet; Purnama, Setyawan; dan Darmanto, Darmakusuma (eds) 2014. *Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Tikno,S., Hariyanto,T., Anwar, N., Karsidi, A., dan Aldrian, E. 2012. Aplikasi Metode *Curve Number* untuk Mempresentasikan Hubungan Curah Hujan dan Aliran Permukaan di DAS Ciliwung Hulu-Jawa Barat. *Jurnal Teknik Lingkungan*, Vol. 13 (1): 25-36.

Undang-undang Nomor 24 Tahun 2007 Tentang Penanggulangan Bencana.

Wanielista, M., R. Kersten, dan R. Eaglin. 1997. Hydrology: *Water Quantity and Quality Control*. New York: John Wiley and Sons Inc.