

Pemodelan Banjir dan Analisis Kerugian Akibat Bencana Banjir di DAS Citarum Hulu

Flood Modeling and Flood Financial Loss Analysis in Upper Citarum Watershed

Sisi Febriyanti Muin^{*1,2}, Rizaldi Boer^{2,3}, Yuli Suharnoto⁴

¹ Mahasiswa Program Studi Klimatologi Terapan, Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680, Indonesia

² Pusat Pengelolaan Resiko dan Peluang Iklim Kawasan Asia Tenggara dan Pasifik, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680, Indonesia

³ Staff Pengajar Departemen Geofisika dan Meteorologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680, Indonesia

⁴ Staf Pengajar Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diterima: 16 Februari 2015

Direview: 14 April 2015

Disetujui: 14 September 2015

Kata kunci:

Banjir

HEC RAS

Periode ulang

Kerugian

Keywords:

Flood

HEC RAS

Return period

Flood damage analysis

Abstrak. Wilayah DAS Citarum Hulu memiliki sejarah yang panjang mengenai bencana banjir. Bentuk wilayahnya yang berupa cekungan raksasa menyebabkan wilayah tersebut menerima aliran air dari berbagai sungai. DAS ini juga didominasi oleh lahan kritis yang mencapai 14% dari luas wilayah menyebabkan banjir datang setiap tahun di DAS Citarum Hulu. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memprediksi distribusi, kedalaman dan durasi banjir untuk setiap periode ulang serta menganalisis kerugian sektor pertanian dan permukiman yang diakibatkan oleh banjir. Model satu dimensi HEC RAS digunakan untuk mensimulasi banjir sedangkan model kerusakan digunakan untuk mengestimasi kerugian akibat banjir. Penelitian ini dilaksanakan pada Juni 2013 hingga Desember 2014. Data yang digunakan meliputi ; peta topografi, peta jaringan sungai, Citra Landsat tahun 2000, peta penggunaan lahan tahun 2000, data debit dan tinggi muka air, serta informasi kejadian dan lamanya banjir aktual. Untuk analisis kerusakan akibat banjir digunakan data kuisioner yang dilaksanakan di tiga belas kecamatan yaitu, Majalaya, Pacet, Pameungpeuk, Baleendah, Solokan Jeruk, Rancaekek, Bojongsoang, Ciparay, Katapang, Margahayu, Arcamanik, Gedebage, dan Rancasari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model HEC RAS cukup baik mensimulasikan banjir di percabangan sungai pertama. Hal ini ditunjukkan dengan hasil kalibrasi model mencapai 74%. Hasil simulasi menunjukkan bahwa luas area dan durasi banjir akan meningkat dengan bertambahnya periode ulang. Besarnya kerugian di sektor pemukiman lebih tinggi dibandingkan dengan pertanian. Total kerugian permukiman dan pertanian untuk banjir 25 tahunan masing-masing sebesar Rp 720 dan Rp 68 miliar. Kerusakan bangunan rumah menjadi penyumbang tertinggi (yaitu 61%) dari total kerugian sektor permukiman. Artinya banjir secara signifikan akan menyebabkan kerusakan bangunan dibandingkan kerusakan pada isi rumah.

Abstract. The Upper Citarum Watershed has a long history of floods. The shape of the watershed is like a giant basin, receiving the flow from several rivers. The watershed is also dominated by degraded lands (about 14% of the area) leading to annual floods. This study aimed to predict the distribution, depth, and duration of flooding that may happen for each return period and to analyze the losses in agricultural and residential sectors due to flooding. The one-dimensional hydraulic model HEC RAS was used to simulate flooding and a flood damage assessment model was used to estimate losses caused by flooding. This research was conducted in June 2013 until December 2014. The data used were topographic maps, the river network maps, Landsat Imagery of 2000, land use map of 2000, rivers flow data, and water level as well as information about flood events and duration of the floods. Analysis for flood damages used questionnaire data collected from eight sub-districts such as Baleendah, Bojongsoang, Ciparay, Dayeuhkolot, Majalaya, Rancaekek, Rancasari, and Solokan Jeruk. The results showed that HEC RAS model succeeded to simulate flooding in first junction and the model calibration reach 74% correlation. The simulation results show, flood area and duration increased according to the increase in the return period. Damage on residential buildings is higher than that on agricultural sector. The total damage on residential buildings of 25 yearly floods is about IDR 720 billion and on agricultural sector is about IDR 68 billion. Damage on the building structure contributes the highest (i.e. 61%) to the residential losses. Flood would significantly cause damages on the building structures rather than housing equipment.

* Corresponding author: blue.she2@gmail.com

Pendahuluan

DAS Citarum merupakan salah satu dari dua daerah strategis yang pada saat ini mengalami tekanan penduduk terberat di Indonesia di samping daerah periphery ibu kota Jakarta (Bodetabekpunjur) (Djuwansah dan Narulita 2006). Hal ini menjadi sebab utama DAS Citarum memiliki luasan lahan kritis yang tinggi (BBWS Citarum 2010a). Kawasan Citarum Hulu, dengan luas lahan kritis mencapai 26.022 ha, adalah salah satu kawasan di DAS Citarum yang mengalami degradasi fungsi konservasi sumberdaya air yang cukup besar (BBWS Citarum 2010b). Permasalahan yang menyebabkan tingginya tingkat potensi bencana di daerah Citarum Hulu yaitu fungsi kawasan lindung (hutan dan non hutan) yang semakin berkurang, pengembangan kawasan permukiman yang tidak terencana, dan pola tanam pertanian yang tidak sesuai untuk lahan kritis (BBWS Citarum 2010b).

Secara fisiografis lahan DAS Citarum bagian hulu terlihat seperti cekungan raksasa, yang lebih dikenal sebagai cekungan Bandung (BPDAS 2009). Cekungan ini dibentuk oleh daerah pegunungan dan perbukitan disekeliling DAS dengan wilayah dataran dibagian tengah. Fisiologi lahan ini menyebabkan hujan dan aliran permukaan pada wilayah pegunungan mengalir ke dalam DAS sehingga menghasilkan banjir di sisi kanan dan kiri sungai Citarum Hulu (Dasanto *et al* 2014).

Selain bentuk fisiografinya yang unik, *outlet* anak-anak Sungai Citarum bagian hulu berada pada lokasi yang berdekatan. Jarak terdekat antara dua *outlet* anak sungai Citarum adalah 0,9 km, yaitu antara anak sungai Cikapundung dan Cisangkuy (BPDAS 2009). Pola aliran dari anak-anak sungai Citarum hampir berbentuk sejajar menuju sungai utama. Sebagaimana layaknya sungai di daerah dataran, sungai Citarum di daerah Bandung berkelok sedang, *gradient* sungai rendah dan potensi sedimentasi tinggi (Rohmat *et al* 2010). Jumlah sedimentasi di Citarum Hulu mencapai 7.899 t ha⁻¹ dengan aliran permukaan sebesar 3.633 juta m³ tahun⁻¹ (BBWS Citarum 2010b). Faktor-faktor ini memicu bencana banjir yang terjadi hampir setiap tahun di kawasan DAS Citarum Hulu.

Wilayah DAS Citarum memiliki sejarah yang panjang terkait bencana banjir. Sejak dulu banjir telah menjadi bencana utama di kawasan ini sehingga pada tahun 1808 ibu kota Bandung terpaksa dipindahkan dari Krapyak/Tari Kolot, Dayeuhkolot ke wilayah bagian utara Citarum Hulu untuk menghindari banjir. Catatan kerugian akibat banjir terakhir yang terjadi di Bandung Selatan selama satu minggu pada 26 Desember 2014 adalah sebesar Rp 75 miliar. Banjir dengan ketinggian antara 30 cm-3 m ini merendam 36.000 rumah di delapan kecamatan dan

menyebabkan tiga orang meninggal dunia (Kompas 2014). Banjir juga menggenangi 365 ha sawah dengan kisaran kerugian petani mencapai Rp 4,5 miliar (Pikiran Rakyat 2014).

Walaupun banjir selalu terjadi setiap tahun dengan kerugian besar, penambahan penduduk memaksa masyarakat terus tinggal dan memadati wilayah-wilayah berpotensi banjir tinggi di DAS Citarum Hulu. Salah satu alasan penting yang membuat masyarakat bertahan di area ini adalah pekerjaan. Jika mereka tinggal di kawasan tersebut maka akan lebih mudah menjangkau “pangsa pasar” di area yang tidak membutuhkan banyak ongkos produksi/distribusi (Bolo dan Suhendar 2012). Untuk itu diperlukan strategi dan manajemen yang tepat sehingga masyarakat bisa hidup dengan layak walaupun tinggal di kawasan banjir.

Antisipasi banjir dan penyusunan manajemen risiko, yang bertujuan untuk mereduksi kerugian akibat banjir, memerlukan informasi kejadian dan sebaran wilayah yang dapat diperoleh melalui kajian model banjir. Saat ini telah tersedia banyak model simulasi untuk mendelineasi daerah rawan banjir salah satunya adalah HEC RAS yang dikembangkan oleh *Hydrologic Engineering Center* (HEC) di bawah *US Army Corps of Engineers* (USACE). Hasil studi Hicks dan Peacock (2005) menunjukkan bahwa *routing* banjir dan prediksi tinggi banjir dapat dimodelkan dengan baik menggunakan HEC RAS. Dibandingkan dengan model hidrologi yang lain, HEC RAS memiliki kemampuan untuk menghasilkan output (berupa peta dan data prediksi) pada setiap stasiun pengukuran hidrometri/*cross section*. Dalam penelitian ini, model HEC RAS digunakan untuk memprediksi distribusi, kedalaman, dan durasi banjir di DAS Citarum Hulu.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membangun model distribusi dan durasi banjir serta menganalisis besarnya kerugian yang diakibatkan oleh banjir pada sektor pemukiman dan pertanian untuk kawasan DAS Citarum Hulu.

Bahan dan Metode

Bahan dan alat

Penelitian ini dilaksanakan di DAS Citarum bagian hulu. Untuk melengkapi data dalam analisis kerugian banjir digunakan data hasil kuisisioner yang diselenggarakan pada bulan Juni 2013 dan Maret 2014. Kuisisioner dilaksanakan di 13 kecamatan yaitu Majalaya, Pacet, Pameungpeuk, Baleendah, Solokan Jeruk, Rancaekek, Bojongsoang, Ciparay, Katapang, Margahayu, Arcamanik, Gedebage, dan Rancasari. Pengolahan data dilaksanakan dari bulan Januari-Desember 2014.

Data yang digunakan meliputi: peta topografi/*Digital Elevation Model* (DEM) dengan resolusi 30 x 30 meter dari wilayah Citarum Hulu, peta jaringan sungai, peta Citarum Hulu dari Google Map, Citra Landsat tahun 2000, peta penggunaan lahan tahun 2000, data debit dan tinggi muka air dari lima sungai (yaitu Citarik, Citarum Hulu, Citarum Tengah, Citarum Hilir, dan Ciwidey), dan informasi kejadian dan lamanya banjir aktual. Data debit yang digunakan yaitu Bd Cangkuang (1998-2009), Majalaya (1999-2009), Dayeuhkolot (1992-2009), Nanjung (1924 - 2009) dan Cukang Genteng (1997-2009).

Alat yang digunakan adalah seperangkat komputer yang dilengkapi *Software* untuk pengolahan data *Geographic Information System* (GIS) khususnya Arc GIS dan HEC RAS, *software* statistik hidrologi yaitu Hydrognomon serta Microsoft Office.

Metodologi

Analisis data debit

Periode ulang debit dihitung menggunakan *software* Hydrognomon. *Software* ini merupakan *software* tidak berbayar dengan lisensi dari GNU GPLv3 (*General Public License*). Pengembangan Hydrognomon dimaksudkan untuk memproses data hidrologi khususnya untuk data series. Dalam penelitian ini, sebaran data dibatasi menjadi 3 yaitu Gamma, Pearson III (Al-Mashidani, *et al* 1978; Saeideslamian and Husseinfeizi 2007; Mujiburrehman 2013) dan Normal (Mujiburrehman 2013). Uji tes yang dilakukan adalah χ^2 dan Kolmogorov-Smirnov. Sebaran yang digunakan untuk memprediksi periode ulang adalah sebaran yang 'ACCEPT/DITERIMA' dari dua uji tersebut pada taraf nyata (α) = 1%.

Simulasi distribusi banjir

Simulasi distribusi banjir kawasan Citarum Hulu dilakukan menggunakan HEC RAS (*Hydrologic Engineering Center-River Analysis System*) dengan pendekatan model aliran sungai satu dimensi. Untuk mensimulasi debit dan ketinggian air di suatu saluran sungai model HEC RAS memiliki dua submodel, yaitu submodel aliran mantap (*steady flow*) dan aliran tidak mantap (*unsteady flow*).

(a) Koefisiensi kekasaran saluran/manning

Kekasaran saluran dianggap sebagai parameter yang paling sensitif dalam pengembangan model hidrolik untuk prediksi banjir dan pemetaan genangan banjir (Parhi 2013). Kekasaran saluran merupakan parameter tidak konstan dan sangat bervariasi sepanjang sungai tergantung pada variasi karakteristik saluran sepanjang aliran (Timbadiya *et al* 2011). Dalam penelitian ini koefisien

kekasaran dibedakan menurut penggunaan lahan. Koefisien kekasaran paling kecil adalah air ($n = 0,001$) sedangkan yang paling tinggi adalah perkotaan dan pedesaan ($n = 0,1$).

(b) Peniruan geometrik dan simulasi kedalaman serta durasi banjir

Peniruan geometri dibuat dengan menggunakan peta jaringan sungai, peta topografi/DEM dengan resolusi 30x30 meter dan foto satelit wilayah sungai dari Google Map. Proses peniruan geometri menggunakan bantuan *software* ArcGIS untuk melakukan pendigitasian jaringan sungai, tanggul, dan kondisi fisik terkait aliran di wilayah sungai (Gambar 1).

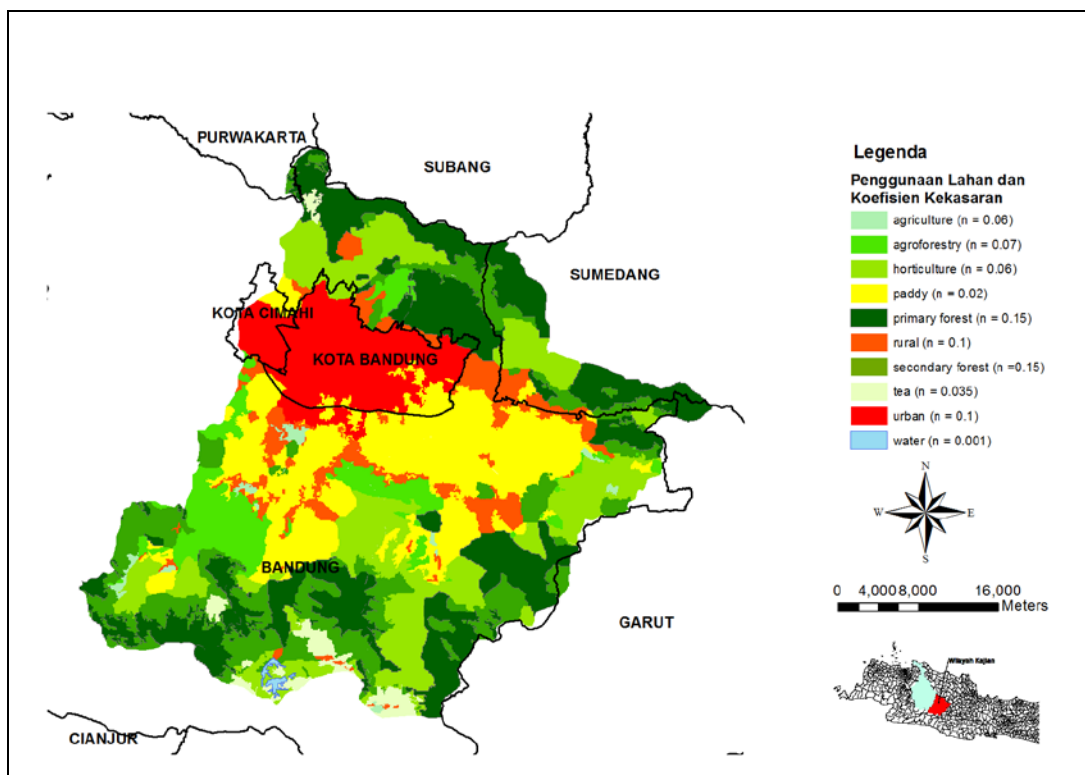
Di dalam HEC RAS, kedalaman, distribusi, dan durasi banjir disimulasi menggunakan dua model yang berbeda. Untuk simulasi kedalaman dan distribusi banjir digunakan hitungan profil muka air aliran mantap sedangkan untuk simulasi durasi banjir menggunakan hitungan profil aliran tak mantap. Profil muka air aliran mantap berfungsi untuk menghitung profil muka air aliran mantap berubah beraturan (*steady gradually varied flow*). Langkah hitungan profil muka air yang dilakukan oleh model aliran mantap HEC RAS didasarkan pada penyelesaian persamaan energi (satu-dimensi). Dalam aliran mantap (*steady flow*), parameter kecepatan, kedalaman, dan debit aliran dianggap konstan, sedangkan dalam aliran tak mantap (*unsteady flow*) ketiga parameter tersebut berubah mengikuti fungsi waktu. Untuk aliran tak mantap, persamaan yang digunakan dalam HEC RAS yaitu persamaan kekekalan massa (*continuity, conservation of mass*) dan persamaan momentum (Istianto 2010).

(c) Kalibrasi

Data yang digunakan sebagai masukan untuk kalibrasi model adalah data periode tahun 2000. Hasil simulasi wilayah banjir dengan model HEC RAS kemudian dibandingkan dengan peta banjir hasil analisis data Landsat 2000, dan diuji tingkat kesesuaiannya dengan metode Horritt dan Bates (2002). Metode ini menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$F = \frac{\text{Num}(S_{\text{mod}} \cap S_{\text{obs}})}{\text{Num}(S_{\text{mod}} \cup S_{\text{obs}})} \times 100$$

S_{mod} dan S_{obs} adalah luas area atau jumlah piksel banjir hasil model dan observasi, dan Num(.) menunjukkan jumlah anggota himpunan luas atau piksel. Hasil perhitungan F bervariasi antara nilai 0 (untuk hasil simulasi wilayah banjir yang sama sekali tidak memiliki kesesuaian dengan wilayah banjir hasil observasi) dan nilai 100 (untuk hasil simulasi wilayah banjir yang memiliki kesesuaian 100% dengan wilayah banjir hasil observasi).



Gambar 1. Batas administrasi, penggunaan lahan, dan koefisien kekasaran Manning untuk setiap penggunaan lahan
 Figure 1. Administration boundary, land use, and Manning roughness coefficient for each land use

Analisis kerugian akibat banjir

Dalam penelitian ini, fokus utama kerugian adalah kerugian langsung yang diakibatkan oleh kontak langsung dengan air banjir. Sedangkan sektor yang menjadi pembahasan kerugian adalah sektor permukiman dan pertanian. Untuk menduga total kerugian pada kedua sektor tersebut digunakan model matematik yang dikembangkan oleh Dutta *et al* (2003). Kerugian permukiman dibedakan menjadi tiga kategori yaitu kerugian akibat kerusakan bangunan rumah, isi rumah, dan biaya pembersihan rumah. Kerugian bangunan rumah diduga berdasarkan asumsi tiga jenis tipe bangunan rumah yaitu permanen, semi permanen, dan tidak permanen. Sedangkan untuk isi rumah dibedakan menjadi lima jenis barang yaitu lemari, kulkas, TV, kursi, dan tempat tidur. Diasumsikan setiap rumah memiliki lima jenis isi rumah tersebut. Luas area banjir untuk permukiman adalah hasil penjumlahan dari luas banjir di perkotaan dan pedesaan. Persamaan untuk masing-masing kategori yaitu:

(a) Kerusakan bangunan rumah

$$D_{sr}(i,j) = \sum_{k=1}^n \{NR(i,j,k)FA(i,j,k)EC_{sr}(i,j,k)C_{sr}(i,j,k)\}$$

(b) Kerusakan isi rumah

$$D_{cr}(i,j) = NF(i,j)EC_{cr}(i,j)C_{cr}(i,j)$$

(c) Biaya pembersihan rumah

$$D_{er}(i,j) = NEC_{er}(i,j)C_{er}(i,j)$$

Dimana untuk setiap grid (i, j) , rt adalah jumlah tipe bangunan rumah; $NR(k)$ adalah jumlah bangunan rumah tipe k ; $FA(k)$ adalah luas unit rumah untuk bangunan tipe k ; NF adalah jumlah keluarga; N adalah jumlah total bangunan rumah; EC adalah harga unit untuk setiap kategori pada kondisi saat ini, dan C adalah fungsi kedalaman-kerusakan/*depth-damage* untuk setiap kategori.

Kerugian pertanian hanya dihitung untuk padi sawah. Persamaan untuk menghitung total kerugian pertanian yaitu:

$$AD(i,j) = \sum_{k=1}^n [D_m(i,j,k)CRP_a(i,j,k)mn(k)]$$

$$D_m = CP_k Y_k DC_k(i,j)$$

Dimana untuk tipe tanaman k pada setiap grid (i, j) , AD adalah total kerugian pertanian, n adalah jumlah tipe

tanaman, D_m adalah kerusakan tanaman per unit area (kerusakan sebagai proporsi dari keuntungan kotor jika tidak terjadi banjir), CRP_a adalah total area penanaman tanaman tipe k , mn adalah *loss factor* untuk tanaman tipe k tergantung pada waktu tanam, CP_k adalah estimasi biaya per unit berat tanaman tipe k , Y_k adalah panen pada tahun normal tanaman tipe k per unit area dan DC_k adalah fungsi kedalaman-kerusakan/*depth-damage* untuk tanaman k . (Gambar 2).

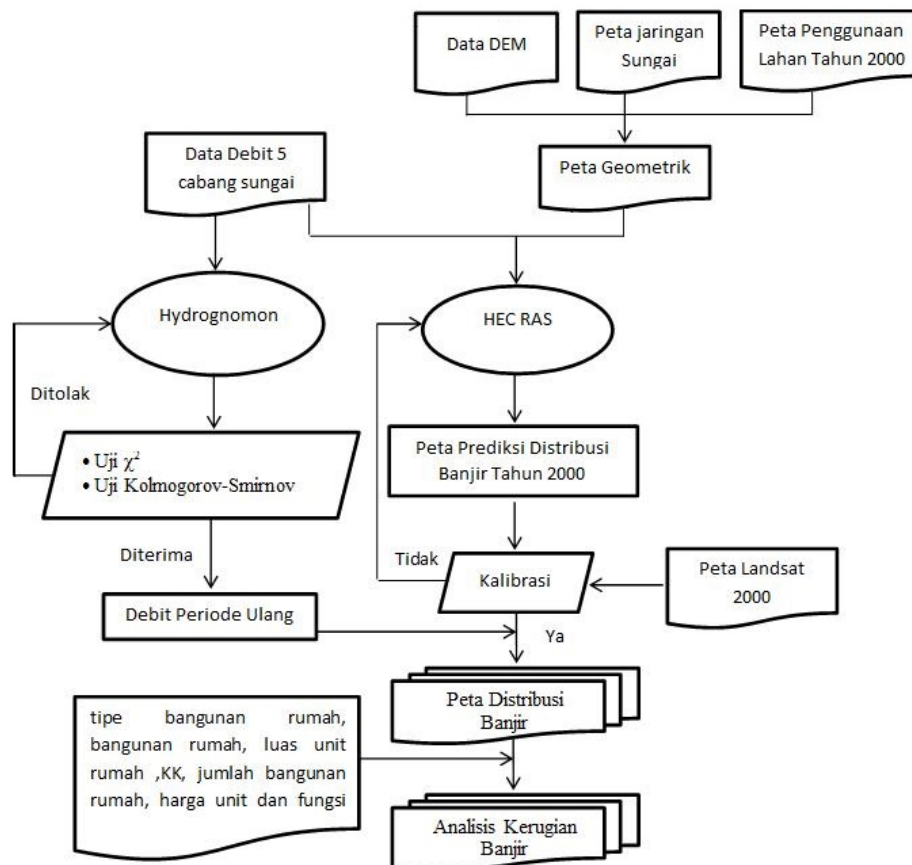
Hasil dan Pembahasan

Kondisi wilayah

Secara geografis, DAS Citarum bagian hulu berada di antara $107^{\circ}15' 46,27''$ - $107^{\circ}57' 1,99''$ BT dan $6^{\circ}43' 8,65''$ - $7^{\circ}14' 32,09''$ LS dengan luas area 180.270 ha. Secara administratif, wilayah DAS Citarum bagian hulu meliputi wilayah Kota Bandung dan Cimahi; Kabupaten Bandung, Bandung Barat, Sumedang, dan sebagian kecil wilayah Kabupaten Garut. Catatan banjir-banjir besar di wilayah Bandung dan sekitarnya terjadi pada tahun 1931, 1945, 1977, 1982, 1984, 1986, 1998, 2005 dan 2010. Menurut BBWS Citarum, pada tahun 2000 terjadi banjir pada bulan Mei dari tanggal 3 hingga 13 (11 hari).

Curah hujan di Citarum Hulu sangat dipengaruhi oleh topografi wilayah. Curah hujan tahunan bervariasi antara 1.966-2.600 mm. Musim hujan terjadi pada bulan November sampai April dengan bulan terbasah mencapai 300 mm. Secara umum iklim DAS Citarum bagian hulu digolongkan sebagai iklim tipe C menurut klasifikasi Schmidt dan Fergusson, tipe Am menurut klasifikasi Koppen atau zona agroklimat B2 menurut klasifikasi iklim Oldeman (BPDAS 2009).

Jenis tanah di Citarum Hulu didominasi oleh jenis tanah Dystropepts (42,73%), Hydraquents (21,74%) dan tanah Tropaquents (20,8%). Tanah Hydraquents dan Tropaquents merupakan tanah Gleisol sedangkan tanah Dystropepts merupakan asosiasi tanah Andosol. Gleisol merupakan tanah-tanah yang terbentuk akibat pengaruh air yang kuat karena selalu jenuh air. Struktur tanah umumnya pejal dan masif dengan aerasi yang buruk. Andosol merupakan tanah yang umumnya mengandung bahan organik tinggi yang terbentuk dari tuf dan abu vulkan intermedier, terdapat terutama di daerah berbukit dan bergunung dengan elevasi yang relatif tinggi. Tanah jenis ini mudah meresapkan air dan memiliki permeabilitas tinggi (BPDAS 2009).



Gambar 2. Diagram alir penelitian

Figure 2. Research flowchart

Elevasi DAS Citarum berkisar antara 600-2.300 m dpl. Elevasi tertinggi berada didaerah utara dan selatan sedangkan elevasi terrendah berada di tengah DAS. Sekitar 86.000 ha lahan di bagian tengah merupakan daerah dataran dengan kemiringan lereng kurang dari 8% (BPDAS 2009). Cabang sungai yang dianalisis dalam penelitian ini adalah dua percabangan yaitu Sungai Citarik (Stasiun Bendung Canguang) dan Sungai Ciwidey (Stasiun Cukang Genteng). Sungai Citarum sendiri dibagi menjadi 3 bagian yaitu bagian hulu (Stasiun Majalaya), tengah (Stasiun Dayeuhkolot) dan hilir (Stasiun Nanjung) (Gambar 3).

Periode ulang debit

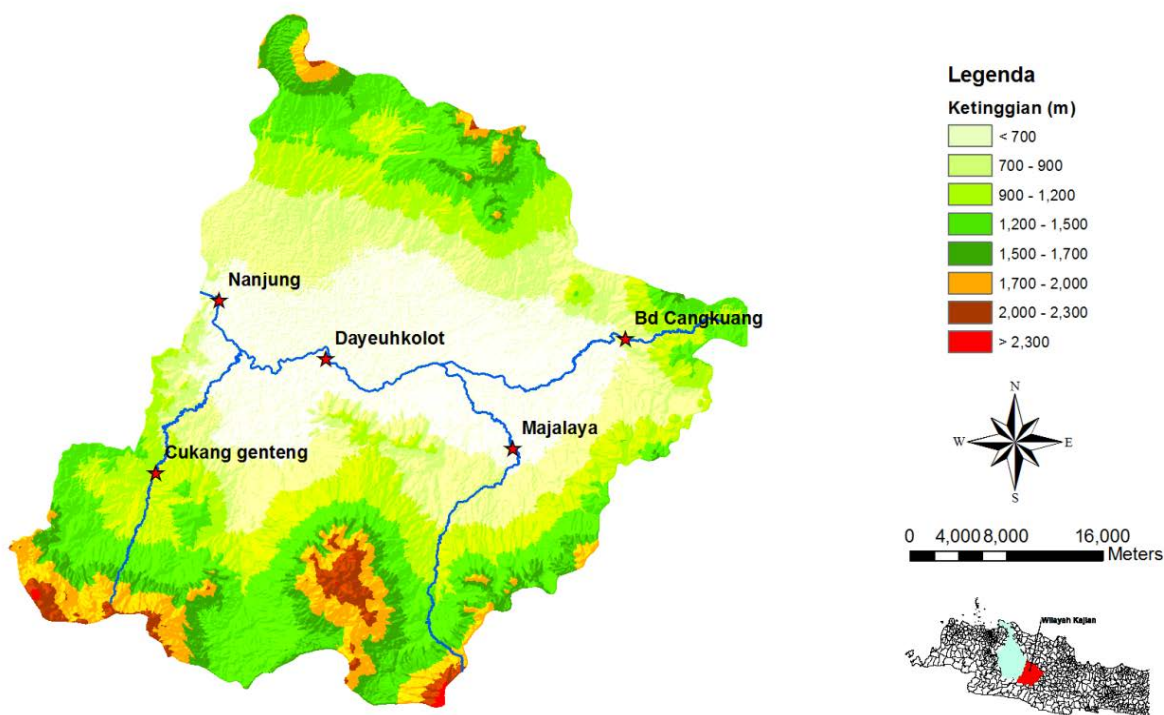
Hasil uji Kolmogorov-Smirnov dan χ^2 menunjukkan hasil yang berbeda untuk setiap set data percabangan sungai. Uji Kolmogorov-Smirnov di Stasiun Cukang Genteng menunjukkan hasil positif pada jenis distribusi Pearson III, namun memberikan hasil negatif pada uji χ^2 untuk ketiga jenis distribusi. Sedangkan untuk Stasiun Bd Canguang, kedua uji menunjukkan hasil positif pada 3 distribusi dengan % kepercayaan tertinggi mencapai 76,5% untuk distribusi Pearson III. Perbedaan hasil uji terhadap jenis distribusi untuk setiap percabangan sungai disebabkan oleh perbedaan panjang dan sebaran data yang tersedia.

Tabel 1 menunjukkan periode ulang untuk setiap percabangan sungai sesuai dengan jenis distribusinya. Karena tiap periode ulang memiliki selisih waktu yang tidak terlalu lama (yaitu lima tahun) maka variasi debit tiap periode ulang juga tidak terlalu tinggi. Sungai yang memiliki variasi debit tiap periode ulang yang tidak jauh berbeda adalah Sungai Citarik.

Hasil kalibrasi model

Hasil kalibrasi model menunjukkan bahwa wilayah banjir simulasi memiliki kesesuaian yang cukup baik dibandingkan dengan wilayah banjir menurut peta Landsat bulan Mei 2000 (Gambar 4). Wilayah banjir yang ditunjukkan oleh warna hitam di peta Landsat terlihat sebagian besar saling tumpang tepat (*overlap*) dengan peta hasil model HEC RAS.

Model sangat baik mensimulasi banjir pada pertemuan sungai (*junction*) pertama sedangkan untuk pertemuan sungai kedua antara Citarum Tengah-Dayeuh Kolot, Ciwidey-Cukang Genteng dan Citarum Hilir-Nanjung menunjukkan kesesuaian yang semakin berkurang. Distribusi banjir simulasi di wilayah hilir lebih tinggi dibandingkan dengan kenyataan. Karena HEC RAS merupakan model satu dimensi maka elevasi muka air hanya dihitung satu kali untuk setiap penampang melintang sungai (*cross section*) maka elevasi muka air tidak



Gambar 3. Distribusi ketinggian wilayah dan lokasi lima stasiun hidrologi DAS Citarum Hulu
 Figure 3. Elevation distribution and five hydrological stations in Upper Citarum

bervariasi sepanjang penampang. Sedangkan pada kondisi lapangan, elevasi muka air pada genangan di sisi sungai (*overbank*) biasanya lebih tinggi dari pada saluran utama. Di dalam model yang dibangkitkan, elevasi muka air baik pada *overbank* maupun pada saluran utama lebih tinggi dari pada elevasi kondisi aktual, karena posisi pertemuan sungai kedua yang berada di hilir sehingga semua air terakumulasi di wilayah tersebut.

Selain itu, hasil dari penelitian Cook (2008) menunjukkan bahwa resolusi DEM (*Digital Elevation Model*) mempengaruhi kualitas prediksi banjir dari HEC RAS. Semakin tinggi resolusi DEM maka penampang melintangnya akan semakin sensitif terhadap perubahan hidrologi. Dalam penelitian ini data DEM yang digunakan memiliki resolusi yang rendah sehingga sensitivitasnya terhadap perubahan kondisi hidrologi juga berkurang.

Hasil analisis tingkat kesesuaian menggunakan metode Horritt dan Bates (2002) mendapatkan hasil ketelitian sebesar 74%. Hal ini menunjukkan bahwa hasil model telah mampu menggambarkan 74% dari kondisi aktual. Dengan ketelitian tersebut, model HEC RAS dapat

digunakan untuk menganalisis distribusi, kedalaman dan durasi banjir untuk periode ulang yang telah ditentukan.

Prediksi banjir untuk setiap periode ulang

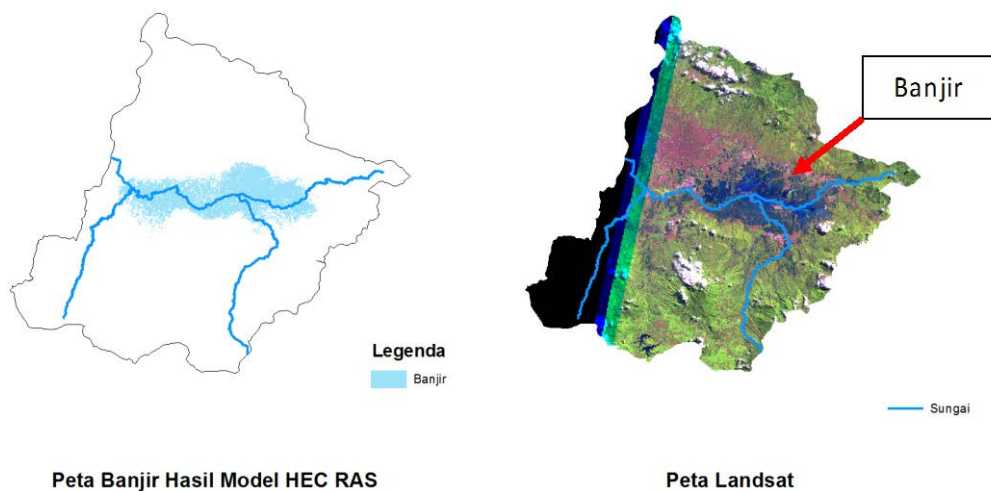
Hasil simulasi banjir tiap periode ulang menunjukkan perbedaan luas genangan yang tidak terlalu tinggi. Pelonjakan luas genangan yang paling tinggi terjadi antara periode ulang 10 tahunan dan periode ulang 15 tahunan yaitu mencapai 17 km². Penggunaan lahan yang paling luas terkena banjir adalah sawah yaitu berkisar antara 131-144 km². Pada periode ulang 25 tahun, banjir diprediksi akan menggenangi 22 kecamatan dan 99 desa dengan total wilayah yang tergenang seluas 180 km² (Tabel 2).

Durasi banjir diprediksi berdasarkan asumsi kondisi aliran tidak mantap (*unsteady flow*). Nilai batas ketinggian muka air yang menyebabkan banjir (*threshold*) adalah ≥ 3 meter. Hasil simulasi banjir HEC RAS selama bulan Mei 2000 dengan *threshold* ketinggian muka air tersebut dapat memprediksi lama banjir 9,5 hari dari tanggal 1-10 Mei 2000 di wilayah Stasiun Dayeuh Kolot dan Cukang Genteng (Tabel 3).

Tabel 1. Debit sungai tiap periode ulang untuk lima percabangan sungai

Table 1. Return period discharge for five river reaches

No.	Sungai	Jenis distribusi	Debit sungai				
			5 tahunan	10 tahunan	15 tahunan	20 tahunan	25 tahunan
		 m ³ s ⁻¹				
1.	Bd Canguang	Pearson III	2,1	2,6	2,9	3,1	3,2
2.	Majalaya	Gamma	9,9	14,9	17,8	20,0	21,6
3.	Dayeuh Kolot	Gamma	58,2	84,2	99,6	110,5	118,9
4.	Nanjung	Normal	123,5	151,4	165,4	174,5	181,2
5.	Cukang Genteng	Pearson III	10,5	15,1	17,9	19,9	21,4



Gambar 4. Peta distribusi banjir hasil simulasi dan analisis citra landsat bulan Mei 2000

Figure 4. Comparison of flood distribution map between model and landsat analysis for May 2000 flood event

Analisis kerugian banjir

Dibandingkan dengan sektor pertanian, sektor pemukiman mengalami dampak kerugian akibat banjir lebih tinggi. Kerugian struktur bangunan merupakan kerugian tertinggi dari sektor permukiman sedangkan biaya pembersihan memberikan kerugian yang tidak terlalu signifikan dibandingkan dengan dua kategori yang lain. Namun total kerugian permukiman dari tiga sektor mencapai Rp 600-700 miliar untuk seluruh kawasan Citarum Hulu. Meningkatnya periode ulang akan meningkatkan besarnya kerugian pada permukiman. Pada periode ulang 25 tahunan kerugian banjir meningkat ± Rp 70 miliar dibandingkan dengan kerugian banjir periode ulang 5 tahunan.

Pendugaan kerugian pertanian untuk tanaman padi pada fase ketiga (yaitu saat pengisian padi hingga panen) dengan lama genangan (sesuai dengan data yang disajikan pada Tabel 3). Pada fase ini, padi masih mungkin untuk

dipanen walau telah terendam. Namun jumlah total yang dapat dipanen akan tergantung pada kedalaman dan durasi banjir. Pada banjir periode ulang 25 tahunan, seluruh hasil pertanaman padi tidak dapat dipanen sehingga kerugian total mencapai Rp 68 miliar (Tabel 4).

Distribusi spasial untuk kategori kerusakan bangunan, barang rumah tangga, dan pertanian dapat dilihat pada Gambar 5, 6, dan 7. Setiap warna pada distribusi spasial kerugian struktur bangunan dan barang rumah tangga menunjukkan pendugaan kerugian yang akan diderita oleh setiap rumah dan KK akibat banjir 5 dan 25 tahunan. Dari gambar distribusi spasial tersebut terlihat bahwa kerugian terbesar akan diderita oleh perumahan yang berlokasi di bantaran sungai. Selain itu, banjir periode ulang 25 tahunan akan meningkatkan jumlah rumah yang terkena banjir dibandingkan dengan banjir 5 tahunan. Hal ini ditunjukkan dengan bertambahnya warna hijau tua, baik pada Gambar 5 dan 6 untuk periode ulang 25 tahunan.

Tabel 2. Luas area banjir untuk setiap penggunaan lahan

Table 2. Flood area for each land use type

Penggunaan lahan	Luas banjir				
	5 tahunan	10 tahunan	15 tahunan	20 tahunan	25 tahunan
 km				
Pertanian	5,31	5,31	5,82	5,82	5,82
Agroforestry	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07
Sawah	131,77	131,78	143,88	144,08	144,08
Pedesaan	17,66	17,67	19,94	19,96	19,98
Perkotaan	8,40	8,40	10,09	10,10	10,10
Total area banjir	163,20	163,22	179,79	180,03	180,05

Tabel 3. Durasi banjir tiap percabangan hasil model HEC RAS

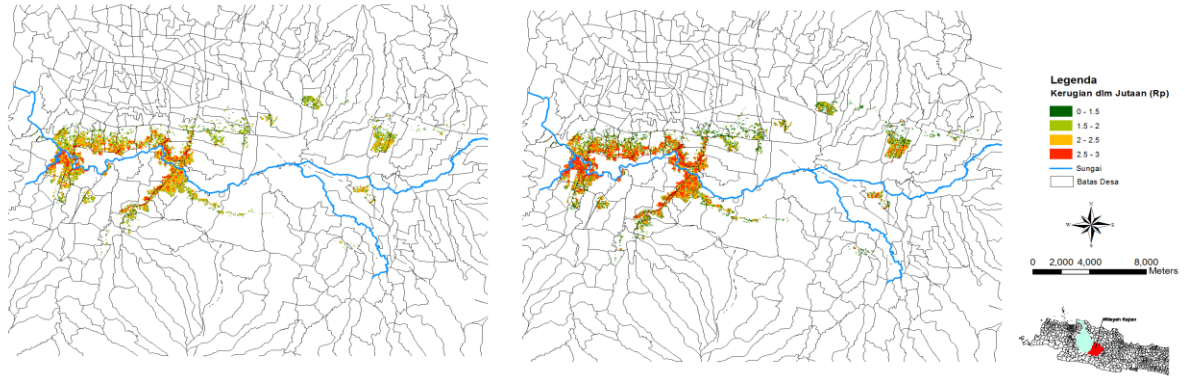
Table 3. HEC RAS results for flood duration

Percabangan sungai	Aktual	5 tahunan	10 tahunan	15 tahunan	20 tahunan	25 tahunan
 hari					
Bd Canguang	7,5	18,5	19,5	23,5	27,5	30,0
Majalaya	7,5	19,0	19,5	23,5	27,5	30,0
Dayeuh Kolot	9,5	19,0	19,5	23,5	27,5	30,0
Nanjung	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Cukang Genteng	9,5	19,0	19,5	23,5	27,5	30,0

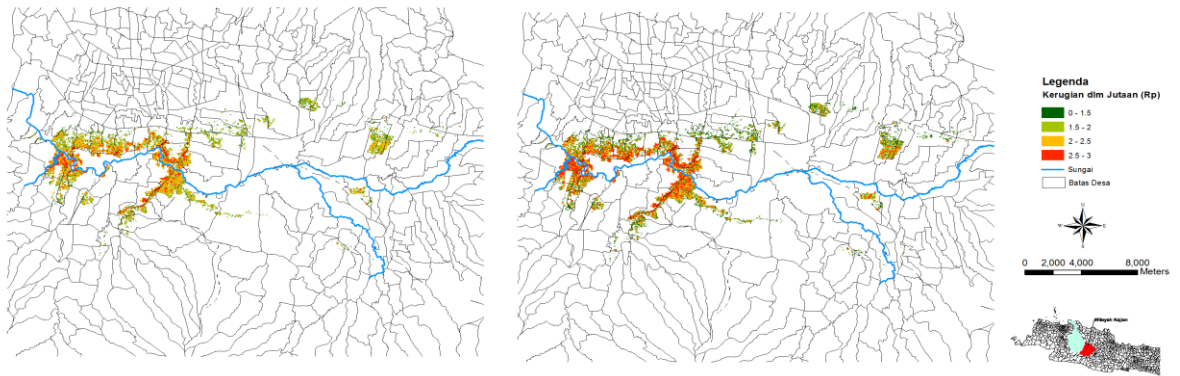
Tabel 4. Total kerugian akibat banjir di DAS Citarum Hulu

Table 4. Flood losses in Upper Citarum

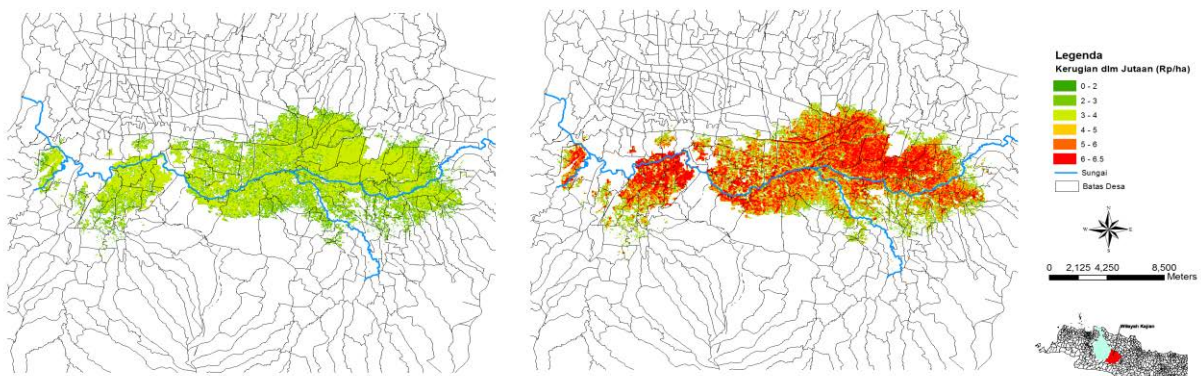
Kategori	Kerugian				
	5 tahunan	10 tahunan	15 tahunan	20 tahunan	25 tahunan
 Rp juta				
Sektor permukiman					
Bangunan	368.687	369.473	427.581	429.876	438.388
Isi rumah	235.922	236.430	273.547	274.985	280.425
Pembersihan rumah	1.346	1.347	1.562	1.564	1.565
Sektor pertanian					
Padi sawah	40.507	43.778	53.564	63.230	68.729



Gambar 5. Distribusi spasial kerugian struktur bangunan pada banjir periode ulang 5 tahunan (kiri) dan 25 tahunan (kanan)
Figure 5. Spatial distribution from building structure losses for 5 year return period flood (left) and 25 year return period flood (right)



Gambar 6. Distribusi spasial kerugian isi bangunan pada banjir periode ulang 5 tahunan (kiri) dan 25 tahunan (kanan)
Figure 6. Spatial distribution from furniture losses for 5 year return period flood (left) and 25 year return period flood (right)



Gambar 7. Distribusi spasial kerugian pertanian pada banjir periode ulang 5 tahunan (kiri) dan 25 tahunan (kanan)
Figure 7. Spatial distribution of agricultural losses for 5 year return period flood (left) and 25 year return period flood (right)

Peta distribusi spasial dari kerugian pertanian menunjukkan perubahan yang sangat signifikan antara banjir periode ulang 5 dan 25 tahunan. Hal ini menunjukkan bahwa durasi banjir sangat mempengaruhi besarnya kerugian pertanian, khususnya pertanaman padi. Pada banjir periode ulang 5 tahunan, kerugian pertanian berkisar antara Rp 2-4 juta/ha sedangkan pada banjir periode ulang 25 tahunan kerugian naik hingga Rp 3-6,5 juta/ha. Sebagai perbandingan, hasil kuisioner menunjukkan bahwa biaya tanam padi untuk satu kali tanam di wilayah Citarum Hulu adalah Rp 5,7-6,5 juta/ha. Artinya pada banjir 25 tahunan petani tidak akan mendapatkan keuntungan karena tidak bisa panen.

Informasi mengenai distribusi kerugian yang akan diderita oleh sektor permukiman dan pertanian diharapkan dapat menjadi dasar dalam pembuatan peta zonasi tingkat kerawanan banjir di DAS Citarum. Dengan adanya peta zonasi ini maka diharapkan pengelolaan DAS, manajemen risiko, serta opsi adaptasi dan mitigasi bencana dapat lebih antisipatif dan tepat sasaran.

Kesimpulan

Model HEC RAS cukup baik memperlihatkan hasil simulasi banjir di percabangan Citarik-Bd Cangkuang, Citarum Hulu-Majalaya dan Citarum Tengah-Dayeuh Kolot (pertemuan sungai (*junction*) pertama). Pada pertemuan sungai kedua antara Citarum Tengah-Dayeuh Kolot, Ciwidey-Cukang Genteng, dan Citarum Hilir-Nanjung, tingkat kesesuaiannya semakin berkurang dengan ketelitian sebesar 74%. Hasil simulasi menunjukkan bahwa luas area dan durasi banjir akan meningkat dengan bertambahnya periode ulang. Besarnya kerugian permukiman lebih tinggi dibandingkan dengan kerugian pertanian. Total kerugian permukiman dan kerugian pertanian untuk banjir 25 tahunan masing-masing mencapai Rp 720 dan Rp 68 miliar. Kerusakan bangunan rumah menjadi penyumbang tertinggi (yaitu 61%) dari total kerugian sektor permukiman. Artinya banjir secara finansial lebih banyak merugikan bangunan dibandingkan isi rumah dan pertanian.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini didanai oleh IMHERE B2C dan USAID melalui kerjasama IPB dan Columbia University. Terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Drs Bambang Dwi Dasanto, M.Si atas data kuisioner dan bimbingannya dengan model HEC RAS. Terima kasih juga kepada TA ADB Package dan CCROM SEAP IPB untuk semua data dan fasilitas yang mendukung penyelesaian tulisan ini.

Daftar Pustaka

- Al-Mashidani, G., B.B. L. Pande, dan M.F. Mujda. 1978. A simple version of Gumbel's Method for flood estimation. *Hydrological Sciences Bulletin des Sciences Hydrologiques*. 23:373-380.
- Balai Besar Wilayah Sungai Citarum (BBWS Citarum). 2010a. Mencapai Sungai Citarum yang Lebih Baik Melalui Upaya Pengelolaan Sumber Daya Air Terpadu. Citarum Fact Sheet. <http://www.citarum.org/>. (23 Juni 2014) (*unpublished*).
- Balai Besar Wilayah Sungai Citarum (BBWS Citarum). 2010b. Summary: Rencana Penanganan Terpadu Wilayah Sungai Citarum 2010-2025. <http://www.citarum.org/>. (23 Juni 2014) (*unpublished*).
- Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (BPDAS) Citarum-Ciliwung. 2009. Rencana Pengelolaan DAS Citarum Terpadu. Buku 1: Laporan Utama. BP DAS Citarum-Ciliwung, Bogor (*unpublished*).
- Bolo, A.D. dan H.E. Suhendar. 2012. Potret Kebudayaan Masyarakat Penghuni Bantaran Sungai Citarum: Studi Kasus Di Desa Citereup-Kec. Dayeuhkolot. Bandung: Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Katolik Parahyangan, Bandung (*unpublished*).
- Cook, A.C. 2008. Comparison of One-dimensional HEC RAS with Two-dimensional FESWMS Model in Flood Inundation Mapping. Ph.D. Thesis. Purdue University. 87pp (tidak dipublikasikan).
- Dasanto, B.D., R. Boer, B. Pramudya, dan Y. Suharnoto. 2014. Simple method for assessing spread of flood prone areas under historical and future rainfall in the Upper Citarum Watershed. *Environment Asia Journal*. 2:79-86.
- Djuwansah, M.R. dan I. Narulita. 2006. Neraca air spasial di bagian hulu DAS Citarum sebagai basis data anggaran air. *Teknologi Indonesia (LIPI Press)*. 29:9-20.
- Dutta, D., S. Herath, dan K. Musiaki. 2003. A mathematical model for flood loss estimation. *Journal of Hydrology*. 277:24-49.
- Hicks, F.E. dan T. Peacock. 2005. Suitability of HEC RAS for flood forecasting. *Canadian Water Resources Journal* 30:159174.
- Horritt, M.S. dan P.D. Bates. 2002. Evaluation of 1D and 2D numerical models for predicting river flood inundation. *Journal of Hydrology* 268:87-99.
- Istiarto. 2010. Modul Pelatihan: Simulasi Aliran 1-Dimensi dengan Bantuan Paket Program Hidrodinamika HEC RAS. <http://istiarto.staff.ugm.ac.id>. (10 Februari 2014) (*unpublished*).
- Mujiburrehman, K. 2013. Frequency analysis of flood flow at Garudeshwar Station in Narmada River, Gujarat, India. *Universal Journal of Environmental Research and Technology* 3:677-684.
- Parhi, P.K. 2013. HEC RAS Model for Manning's Roughness: A Case Study. *Open Journal of Modern Hydrology* 3:97-101.
- Rohmat, D., Mudjiadi, dan H. Ahyadi. 2010. Keberadaan, Potensi, dan Gagasan Pemanfaatan Sungai Mati di Sepanjang Sungai Citarum-Daerah Bandung. Pascasarjana UNDIP. <http://www.citarum.org/>. (23 Juni 2014) (*unpublished*).
- Saeideslamian, S. dan Husseinfeizi. 2007. Maximum monthly rainfall analysis using L-Moments for an arid region in Isfahan Province, Iran. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 46:494-503.
- Timbadiya, P.V., P.L. Patel, dan P.D. Porey. 2011. Calibration of HEC RAS Model on prediction of flood for Lower Tapi River, India. *J. of Water Resource and Protection* 3:805-811.