

PENDUGAAN VOLUME BANJIR DENGAN DATA SPASIAL FAKTOR-FAKTOR HIDROLOGI

M. Rahman Djuwansah¹ Ade Suriadarma¹ dan Asep Mulyono²

¹Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI, Jalan Sangkuriang Bandung 40135

Telpon: +62 022 2503654, Fax: +62 022 2504593

²UPT Loka Uji Teknik Penambangan dan Mitigasi Bencana Liwa

Email: djuwansah@yahoo.co.id

Sari

Volume banjir di Cekungan Bandung yang terjadi pada tanggal 14 Maret serta 21 dan 22 April 2004 telah diduga dengan menggunakan data curah hujan harian yang terekam di stasiun-stasiun penangkar di seluruh cekungan serta data hydrograph hasil pengukuran di stasiun pengukur luah di Nanjung sebagai outlet sub DAS. Luah Aliran Masuk harian diduga dengan menggunakan metoda SCS dengan input Isohyet harian yang diturunkan dari data curah hujan harian. Luah aliran keluar adalah data luah harian yang tercatat pada stasiun pengukuran. Luah banjir ditentukan dengan persamaan kontinuitas aliran. Untuk kasus banjir Tanggal 14 Maret 2004, Cekungan Bandung menerima hujan yang terus menerus semenjak tiga hari sebelum banjir (11 Maret 2004). Meski curah hujan tidak terlalu besar, curah hujan yang terus menerus selama lebih dari tiga hari akan menyebabkan lapisan tanah jenuh air. Apabila kejenuhan telah tercapai maka, sebagaimana kecilnya pun, semua hujan yang jatuh akan berubah menjadi air larian di permukaan tanah. Volume banjir harian yang dihasilkan dari perhitungan tersebut adalah sebesar 13,79 juta m³ untuk tanggal 14 Maret, untuk tanggal 21 dan 22 April masing-masing 9,01 juta m³ dan 10,54 juta m³.

Kata kunci: banjir, volume, Cekungan Bandung, pendugaan, curah hujan, hydrograph

Abstract

The flood volume in Bandung Basin of March 14, and April 21 and 22, 2004 have been estimated using Rainfall data recorded by rain gauge stations in the basin and hydrograph recorded at Nanjung as the station of sub-watershed outlet. Inflow discharge to the sub watershed was estimated using NRSCS method by inputting daily isohyets derived from daily rainfall data. The outflow discharge data was extracted from daily hydrograph. Flood discharge was determined using continuity equation of flow. For the case of floods at March 14, 2004, Bandung Basin received rainfall since three days prior to floods (11 March 2004). Even rainfall was not so high, continuous rain during three days have saturated soil porosity. When the saturation of soil humidity attained, all rain will be transformed into surface run off on the soils. The floods volume resulted by the above method was 13,79 million m³ for the flood of March 14, and for those of April 21 and 22 were 9,01 and 10,54 million m³ respectively.

Keywords: floods, volume, Bandung Basin, estimation, rainfall, hydrograph

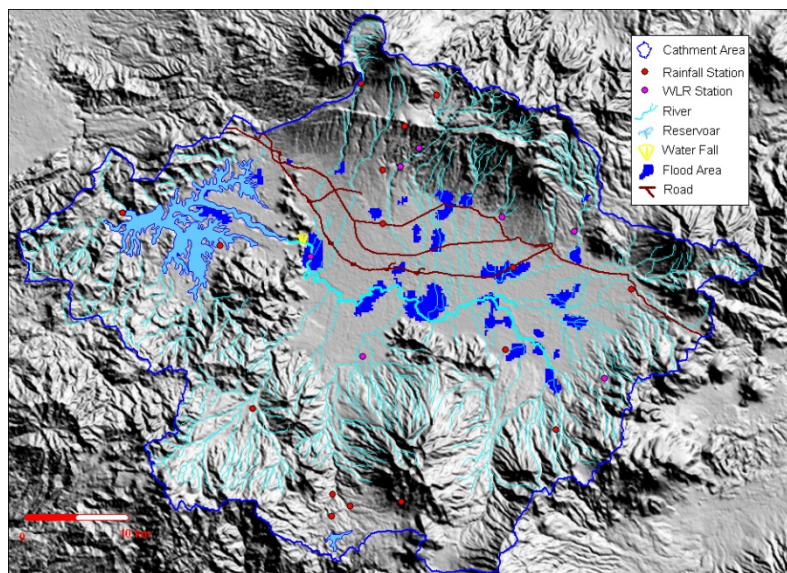
PENDAHULUAN

Banjir merupakan peristiwa yang selalu terjadi setiap tahun di berbagai tempat di Indonesia pada masa puncak musim hujan. Penyebab utama terjadinya banjir adalah pemanfaatan lahan yang tidak sesuai lagi dengan daya dukungnya sebagai akibat dari besarnya tekanan penduduk. Tampaknya jumlah dan penyebaran lokasi kejadian serta intensitas banjir akan terus meningkat pada tahun-tahun mendatang, mengingat jumlah penduduk pada tahun 2009 di Kabupaten Bandung sebesar 2.987.106 jiwa meningkat 84.000 jiwa dari tahun 2008 (BPS Kabupaten Bandung, 2009).

Melihat pola pemanfaatan lahan yang ada dan kecenderungan peningkatan luasan dan intensitas alih fungsi lahan di masa mendatang, tampaknya upaya penanggulangan banjir dengan hanya mengandalkan pada perbaikan hulu daerah tangkapan hujan saja tidak mungkin dicapai. Karena desakan kebutuhan akan lahan yang meningkat semakin tajam. Penyelesaian tuntas hanya mungkin dicapai dengan melakukan upaya-upaya secara struktur dan non struktur (bukan bangunan sipil, misalnya reboisasi) secara bersamaan dan bersinergi. Upaya ini hanya mungkin dilakukan apabila volume banjir dapat diduga dengan baik dan lebih jauh lagi dapat ditentukan jumlah tertentu yang dapat ditanggulangi dengan upaya non struktur dan sejumlah lainnya yang harus dikendalikan dengan struktur.

Pendugaan volume yang dimaksud akan dapat dilaksanakan apabila faktor-faktor hidrologi DAS setempat, seperti curah hujan, kelerengn tutupan lahan, permeabilitas tanah, dan geologi, diketahui secara kuantitatif dan sebarannya terinventarisasi secara spasial. Data spasial faktor-faktor sumberdaya air kini semakin mudah diperoleh atau dibuat, sejalan dengan perkembangan teknologi penginderaan jauh dan sistem informasi geografi. Pemakaian data ini untuk menduga kuantitas sumberdaya telah dilakukan dan telah diaplikasikan untuk berbagai penggunaan, khususnya dalam menentukan daya dukung suatu daerah berdasarkan ketersediaan airnya. Pada penelitian ini merupakan ketersediaan jenis data tersebut akan dimanfaatkan untuk kepentingan mitigasi dan penanggulangan bencana, khususnya banjir.

Cekungan Bandung merupakan daerah terpadat di Indonesia. Drainase Cekungan Bandung dialirkan oleh Sungai Citarum ke arah Waduk Saguling yang berada di ujung sebelah barat cekungan. Sungai Citarum yang berasal dari lereng timur Gunung Malabar merupakan sungai utama di wilayah ini dan merupakan salah satu sungai terbesar di Jawa. Beberapa anak sungai seperti Cikapundung, Ciwidey, Cisangkuy, Cikeruh, Cimahi, Cidurian dan Citarik bermuara pada sungai ini pada bagian dasar cekungan diatas. Muara-muara ini terletak saling berdekatan di atas endapan danau yang tersusun oleh butiran yang sangat halus sehingga memiliki permeabilitas yang sangat rendah. Pola aliran cekungan memperlihatkan aliran yang terpusat ke bagian tengah cekungan. Masing-masing anak sungai memiliki panjang yang bervariasi antara 30 – 40 km (Gambar 1). Pola aliran anak-anak sungai tersebut umumnya dendritik atau bercabang-cabang.



Gambar 1. Peta lokasi dan distribusi daerah genangan banjir di Cekungan Bandung

Sampai saat ini upaya penanganan banjir sudah banyak dilakukan, tetapi umumnya lebih bersifat penanganan darurat untuk penyelamatan korban. Bahkan upaya penanggulangan secara struktur (sipil-teknis) yang telah dilakukanpun (pembuatan banjir kanal, penyodetan dan pelurusan sungai, pembuatan tanggul, dsb.) hanya bermanfaat selama beberapa tahun saja, padahal biaya yang sudah dikeluarkan cukup besar. Tidak berlanjutnya manfaat sarana pengendali banjir yang dibangun ini disebabkan karena beberapa hal penting tidak diperhatikan. Pertama, kerusakan fungsi hidrologis daerah-daerah hulu tidak diperbaiki. Kedua, umumnya disain sarana pengendali banjir hanya didasarkan pada periode ulang siklus luah sungai dan curah hujan, sedangkan peningkatan luah air banjir yang akan meningkat dari tahun ke tahun sebagai konsekuensi dari perubahan tutupan lahan tidak diperhitungkan.

Dengan kondisi seperti di atas, maka penyelesaian tuntas masalah banjir di Cekungan Bandung tidak akan bisa ditanggulangi, karena memang daerah ini adalah daerah banjir berkala. Upaya yang biasa dilakukan adalah bagaimana agar banjir yang terjadi tidak menimbulkan kerugian, bahkan lebih baik lagi apabila kita biasa mengambil manfaat dari banjir tahunan. Sebagai upaya dalam penyediaan metoda pendugaan untuk mendukung upaya penanggulangan masalah banjir maka dilakukan penelitian untuk mengetahui berapa jumlah air yang harus dikendalikan setiap kali terjadi banjir. Setelah besaran ini diketahui maka perencanaan untuk penaggulangannya akan bisa disusun dengan lebih mudah dan terarah. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menduga seberapa besar ketersediaan air pada sebelum, saat dan setelah terjadinya hujan sehingga dapat dimanfaatkan untuk kepentingan mitigasi dan penanggulangan bencana banjir.

METODOLOGI

Metoda Pengumpulan data

1.1. Pembuatan Peta Tata Guna Lahan

Peta tutupan lahan di Cekungan Bandung pada tahun 2004 dibuat dengan cara menafsirkan citra satelit ASTER. Untuk seluruh cekungan Bandung, diperlukan data satellite sebanyak lima *Scene* yang terpisah. Pengolahan citra ASTER 2004 meliputi koreksi radiometri dan koreksi geometri, yang harus dilakukan untuk masing-masing scene. Kelima *scene* tersebut kemudian digabung dan di *crop* sebatas daerah Cekungan Bandung yang akan dipelajari.

Pemetaan tutupan lahan pada citra hasil penggabungan dan *cropping* dilakukan secara *Assisted Automatic Classification*. Metoda ini pada dasarnya adalah metoda otomatis, tetapi dibantu dengan daerah atau lokasi training yang betul-betul diketahui karakternya serta posisinya mudah ditentukan pada citra.

1.2. Pengumpulan data Curah Hujan

Pengumpulan data curah hujan dilakukan dengan penagambilan data iklim dari stasiun-stasiun milik BMG dan Indonesia Power. Untuk keseluruhan daerah studi, Data iklim terdapat pada 13 stasiun yang tersebar di dalam kawasan Cekungan Bandung. Data yang digunakan untuk studi ini adalah data hujan harian untuk tanggal-tanggal yang meliputi tiga hari sebelum dan setelah kejadian banjir.

1.3. Penyusunan Isohyet

Pengolahan data yang pertama-tama kemudian dilakukan adalah koreksi data yang dilakukan dengan metoda kurva masa. Setelah itu dilakukan penurunan persamaan korelasi antara curah hujan dan lereng, untuk setiap hari yang dipelajari. Karena adanya variabilitas dalam distribusi hujan di Cekungan Bandung, penurunan persamaan dilakukan untuk dua lereng yang terpisah, yaitu lereng utara dan lereng selatan cekungan. Pada dasarnya proses pembuatan *isohyet* untuk Cekungan Bandung dilakukan dengan membuat dua *isohyets* yang berbeda antara lereng utara dan selatan, sedangkan hasil akhirnya merupakan gabungan dari kedua *isohyets* tersebut.

1.4. Penghitungan luah aliran keluar Sungai Citarum

Data *hydrograph* harian yang tercatat di stasiun pengukur, diperoleh melalui izin dari PSDA Propinsi Jawa Barat. Untuk seluruh aliran Sungai Citarum di bagian hulu yang meliputi kawasan Cekungan Bandung, terdapat enam stasiun pengukur debit yang datanya bisa diolah. Luah aliran utama Sungai Citarum tercatat di stasiun Nanjung, yang merupakan outlet dari seluruh Cekungan Bandung (hulu Citarum).

Aliran tinggi dan aliran rendah tahunan kemudian diduga berdasarkan *hydrograph* yang dibuat. Besarnya aliran tinggi (*highflow*) pada hari-hari menjelang banjir dapat diduga. Pemisahan *high flow* yang dilakukan dengan secara otomatis dengan menggunakan metoda *recursive digital filter* (Nathan & Mc Mahon, 1990), ternyata hanya sesuai untuk perhitungan dengan resolusi temporal bulanan. Sedangkan untuk resolusi temporal harian, karena adanya tenggang waktu (*lag time*) antara hujan dan banjir, maka pemisahan dari data ini tidak dapat diterapkan. Diperlukan data *hydrograph* jam-jaman untuk memisahkan aliran tinggi dan aliran rendah harian dengan metoda ini.

Metoda Analisis data

Metoda analisis penghitungan volume banjir dilakukan dengan persamaan kontinuitas aliran (*continuity equation*; Chow et al., 1988), yang biasa diekspresikan dengan rumus:

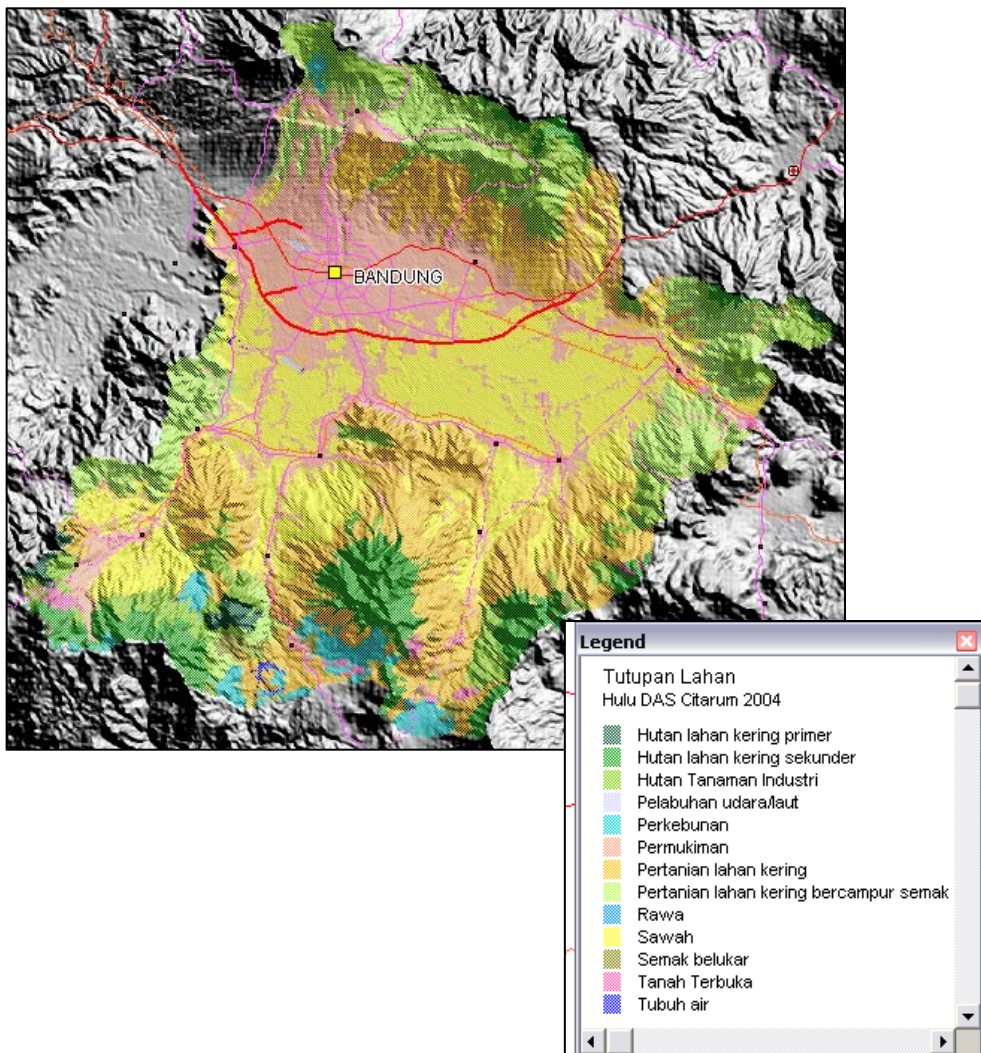
$$dS/dt = I_{(t)} - Q_{(t)}$$

Dimana :
 dS/dt = Simpanan (*Storage*) pada waktu tertentu
 $I_{(t)}$ = luah masuk pada waktu tersebut, dan
 $Q_{(t)}$ = luah keluar pada waktu tersebut

Dengan rumus diatas, perhitungan volume banjir adalah perhitungan dS/dt ketika terjadi banjir. Pada pendugaan volume banjir dilakukan dengan mengaplikasikan metoda kontinuitas aliran, *increment* waktu (t) yang dipakai adalah harian, karena data yang tersedia adalah data harian. Luah masuk ke dalam system ($I_{(t)}$) adalah nilai air larian yang dihasilkan dari perhitungan dengan metoda NRCS pada basis data faktor-faktor sumberdaya air, dimana total curah hujan harian spasial yang dimodelkan dengan *isohyet* merupakan masukan awal. Luah sungai atau luah air keluar daerah banjir ($Q_{(t)}$) adalah luah harian Sungai Citarum yang terukur di stasiun pengukur Nanjung. Volume *Storage* harian (dS/dt) adalah $I_{(t)} - Q_{(t)}$. Dengan metoda perhitungan tersebut maka banjir adalah genangan air yang terjadi ketika jumlah air input yang masuk ke dalam daerah banjir melebihi yang dikeluarkan dari padanya ($I_{(t)} > Q_{(t)}$), atau dengan kata lain simpanan (dS/dt) bernilai positif.

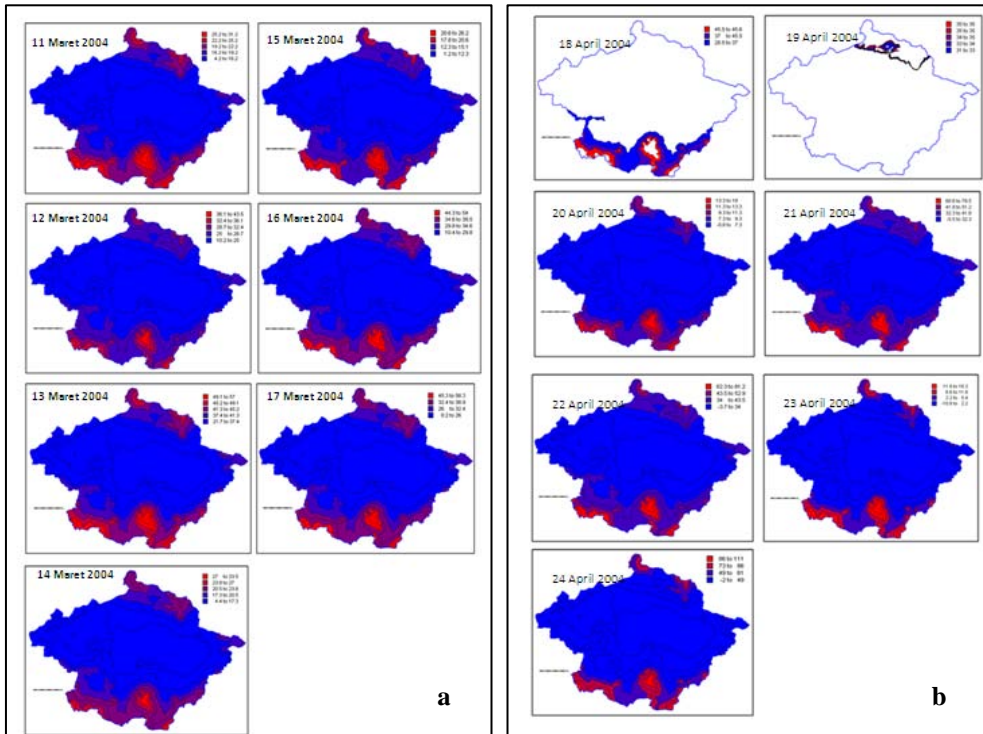
HASIL

Kondisi tutupan lahan Cekungan Bandung pada tahun 2004 dapat dilihat pada Gambar 2. Puncak-puncak gunung dan punggung-punggung bukit yang mengitari Cekungan Bandung masih tertutup oleh hutan, baik hutan primer maupun hutan sekunder. Di lereng sebelah bawah tegakan hutan biasa dijumpai daerah perkebunan, dimana tanaman the merupakan jenis tanaman yang paling banya dijumpai di daerah ini. Tanaman perkebunan lainnya yang juga banyak dijumpai adalah kina. Tidak jarang tegakan hutan di daerah puncak ini berbatasan langsung dengan lahan pertanian kering yang terdapat di bawahnya. Apabila tidak terawat dengan baik, lahan pertanian ini sering pula di jumpai dalam bentuk belukar. Sawah biasanya dijumpai di dasar-dasar lembah dan pada lereng bawah dimana air permukaan sudah banyak keluar dari mata-mata air. Secara alami bagian dasar dari Cekungan Bandung yang memiliki bentuk lahan yang datar dan terbentuk dari endapan danau purba, adalah daerah persawahan. Kini sebagian besar dari lahan-lahan landai di daerah dasar cekungan dan lereng bawah telah berubah menjadi daerah pemukiman. Bahkan perkembangan daerah pemukiman yang pesat pemukiman telah pula merambah daerah-daerah berlereng.



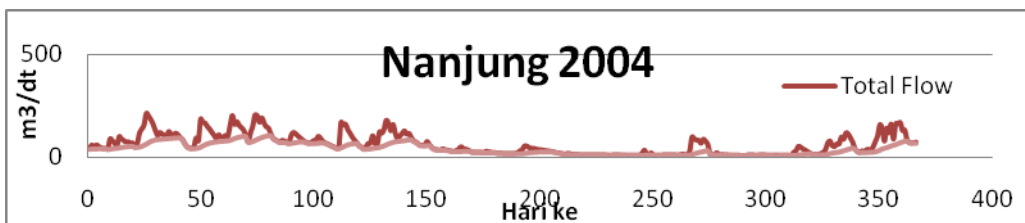
Gambar 2. Peta tutupan lahan di Cekungan Bandung pada tahun 2004

Distribusi spasial hujan sangat menentukan lokasi terjadinya banjir. Di bagian terendah Cekungan Bandung lokasi banjir tersebar terpisah-pisah secara acak (Gambar 3), tetapi semuanya terletak di sepanjang alur sungai utama Citarum ketika telah mencapai dataran landai di permukaan bekas danau purba. Banjir biasanya terjadi pada salah satu dari lokasi genangan tersebut (kasus 4 Maret 2004) atau pada beberapa tempat secara bersamaan (kasus 19 dan 20 Februari 2005) tergantung jumlah curah hujan dan lokasi daerah hulu dimana curah hujan tinggi turun. Daerah banjir pada umumnya terletak di muara anak sungai ke Sungai Citarum di dataran dasar Cekungan.



Gambar 3. Peta isohyet harian (dalam mm) (a) tanggal 11 – 17 Maret 2004 (b) tanggal 18 – 24 April 2004

data faktor-faktor sumberdaya Air untuk Cekungan Bandung yang kami punyai hanya untuk tahun 2004. Berdasarkan ketersediaan data tersebut di atas, maka kami hanya melakukan analisis data luah keluar pada saat banjir untuk tahun 2004 dan 2005, sedangkan pendugaan volume/luah banjir hanya dapat kami lakukan untuk tahun 2004 (Gambar 5).



Gambar 4. Hidrograph (tebal) dan aliran rendah (tipis) tahun 2004 yang terekam pada stasiun pencatat tinggi muka air Sungai Nanjung.

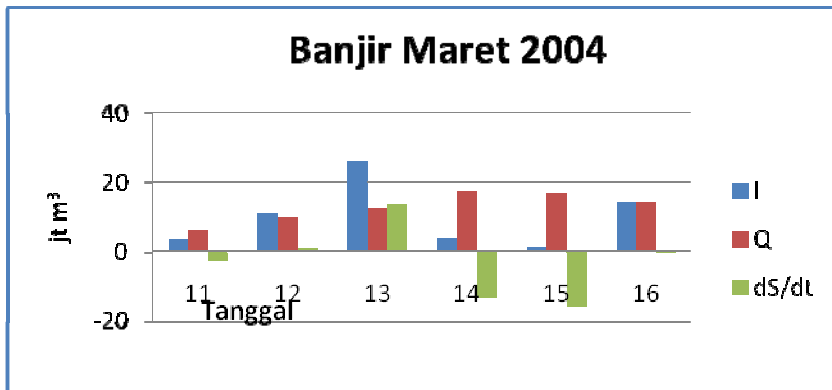
ANALISIS/DISKUSI

Pada pendugaan volume banjir dilakukan dengan mengaplikasikan metoda kontinuitas aliran, *increment* waktu (t) yang dipakai adalah harian, karena data yang tersedia adalah data harian. Luah masuk ke dalam system ($I_{(t)}$) adalah nilai air larian yang dihasilkan dari perhitungan dengan metoda NRCS pada basis data faktor-faktor Sumberdaya Air, dimana total curah hujan

harian spasial yang dimodelkan dengan Isohyet merupakan masukan awal. Luah sungai atau luah air keluar daerah banjir ($Q_{(t)}$) adalah luah harian Sungai Citarum yang terukur di stasiun pengukur Nanjung. Volume *Storage* harian (dS/dt) adalah $I_{(t)} - Q_{(t)}$.

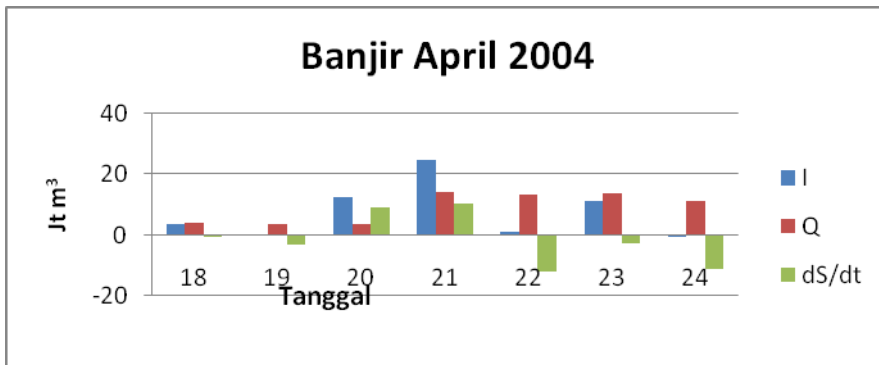
Dengan metoda di atas maka banjir adalah genangan air yang terjadi ketika jumlah air input yang masuk ke dalam daerah banjir melebihi yang dikeluarkan dari padanya ($I_{(t)} > Q_{(t)}$), atau dengan kata lain simpanan (dS/dt) bernilai positif.

Operasi langkah demi langkah perhitungan dengan metoda tersebut (Tabel 3) memperlihatkan bahwa pada tanggal 11 Maret 2004, simpanan air di daerah Cekungan Bandung masih *deficit*. Banjir pada tanggal 14 Maret 2004, terjadi akibat *surplus* simpanan (dS/dt) yang terakumulasi mulai tanggal 12 Maret sampai dengan 13 Maret 2004. Dengan terjadinya banjir pada tanggal 14 Maret berarti ada tenggang waktu satu-dua hari semenjak surplus air larian yang berasal dari eksese air hujan mulai tekumpul di Bagian hulu DAS sampai kemudian menggenangi daerah banjir. Ketika terjadi genangan banjir pada tanggal 14 Maret, perhitungan aliran air di Daerah Banjir sedang memperlihatkan hasil *deficit* yang besarnya menyamai besar luah banjir itu sendiri. Keadaan tersebut di lapangan ditandai susutnya banjir, dan mengering pada keesokan harinya. Pada hari ke 3 setelah banjir, meskipun Daerah banjir menerima hujan yang menghasilkan air larian yang cukup besar, tetapi jumlah aliran yang masuk sama dengan aliran yang keluar pada hari itu, sehingga neraca simpanan air bernilai nol.



Gambar 5. Neraca simpanan air di daerah banjir Cekungan Bandung pada 11 - 18 Maret 2004

Pada kasus banjir tanggal 21 dan 22 April 2004, sampai dengan 3 hari sebelumnya neraca simpanan air di daerah banjir masih *deficit* (Gambar 6). Curah hujan yang tinggi turun sehari sebelum terjadinya banjir dan menerus berturut-turut sampai dengan setelah banjir berakhir. Meski demikian surplus simpanan air hanya terjadi selama dua hari berturut-turut yaitu pada tanggal 20 dan 21 April dan menyebabkan banjir pada tanggal 21 dan 22 April. Seperti hanya kasus banjir 14 Maret, banjir kali inipun memiliki waktu tenggang selama satu hari setelah curah hujan tinggi turun yang menghasilkan akses air larian yang luahnya signifikan. Proses surut banjir baru dimulai pada tanggal 22 April ketika neraca simpanan air mulai menghasilkan nilai negatif, dan baru betul-betul mengering pada pagi hari tanggal 23 April.



Gambar 6. Neraca simpanan air di daerah banjir Cekungan Bandung pada 18 - 24 April 2004

Tenggang waktu (*lag time*) satu hari antara curah hujan tinggi dan terjadinya banjir tampaknya merupakan hal yang umum terjadi dan menarik untuk dicermati. Apabila kita perhitungkan jarak dari daerah paling hulu suatu anak sungai sampai mencapai muaranya di sungai induk citarum (umumnya kurang dari 60 km), dengan memperhitungkan kecepatan rata-rata air, maka tampaknya waktu 1 hari terlalu panjang untuk aliran air di saluran. Waktu 1 hari akan menjadi cukup apabila sumber banjir adalah air limpasan (*overland flow*) yang jatuh di permukaan tanah dan kemudian mengalir di permukaan menuju tempat yang lebih rendah, membentuk alur (*rill*) aliran dan kemudian mengumpul pada cekungan-cekungan dan lembah-lembah untuk kemudian mencapai anak sungai dan mengalir menuju sungai. Dengan rute aliran seperti itu, ditambah dengan adanya hambatan dari tumbuhan-tumbuhan serta penghalang lainnya di permukaan tanah, maka waktu satu hari merupakan waktu yang bisa diterima untuk sampainya eksese air hujan di hulu ke daerah banjir.

Pendugaan besaran banjir pada kedua kasus di atas memberikan nilai luah sekitar 13,8 jt m³/hari untuk tanggal 14 Maret dan masing-masing 9,0 dan 10,5 juta m³/hari untuk tanggal 21 dan 22 April 2004. Apabila besaran tersebut akan kita konversikan terhadap satuan volume, maka masih akan harus mempertimbangkan lamanya waktu penggenangan. Apabila genangan pada masing-masing tanggal tersebut di atas terjadi sesaat maka volume banjir yang terdapat pada saat itu adalah sama dengan volume total harian. Tetapi apabila genangan hanya terjadi selama 6 jam berturut-turut, dan volume genangan terdistribusi merata selama waktu genangan, maka volume genangan setiap jamnya adalah 1/6 kali total genangan harian (2,3 jt m³).

KESIMPULAN

Volume banjir harian yang dihasilkan sebesar 13,79 juta m³ untuk tanggal 14 Maret, untuk tanggal 21 dan 22 April masing-masing 9,0 juta m³ dan 10,5 juta m³. Terdapat satu hari tenggang antara curah hujan tinggi di sub-DAS dan kejadian Banjir. Untuk kegunaan perencanaan penanggulangan banjir yang lebih efisien, pendugaan perlu dilakukan berdasarkan curah hujan tertinggi untuk perioda ulang 30 atau 50 tahun dengan resolusi waktu yang lebih tinggi, misalnya data per jam untuk *hydrograph* maupun untuk curah hujan.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik, 2009. *Kabupaten Bandung dalam Angka*. BPS, Bandung.
- Nathan R.J. and T.A. Mc. Mahon, 1990. *Evaluation for automated Techniques for Baseflow and recession Analyses*. Water Resources Research, vol 26. Pp. 1465-1473.
- Chow V.T., D.R. Maidment and L.W. Mays, 1988. *Applied Hydrology*. Mc. Graw Hill co.
- Mc Cuen, R.H., 1982. *A Guide to Hydrologic Analysis using SCS Methods*. Prentice Hall Publ.