

PERINGATAN DINI BANJIR BERBASIS DATA HIDROLOGI TELEMETRI DI DAS CITARUM HULU

Petrus Syariman¹⁾, Segel Ginting²⁾

^{1,2)} Balai Hidrologi dan Tata Air, Pusat Litbang Sumber Daya Air
Jl. Ir. H. Juanda No. 193, Bandung 40135
Email: petrussy@bdg.centrin.net.id;

Diterima: 7 September 2011; Disetujui: 4 November 2011

ABSTRAK

Kejadian banjir yang sering melanda Dayeuhkolot sudah sangat memprihatinkan, dan berbagai upaya penanggulangan telah dilakukan melalui pendekatan struktural dengan normalisasi sungai, pembuatan tanggul, dan lain-lain. Namun upaya tersebut belum memberikan hasil yang maksimal. Pendekatan lainnya yang diusulkan adalah melalui upaya nonstruktural dengan membuat peringatan dini banjir berbasis data hujan telemetri. Diharapkan dengan upaya tersebut dapat meminimalisasi risiko yang dihadapi oleh masyarakat. Dalam pendekatan dengan peringatan dini banjir berbasis data hujan telemetri tersebut, terlebih dahulu dilakukan analisis untuk mengetahui jeda waktu yang diperlukan oleh awal mulainya hujan sampai ke puncak banjir. Dari hasil analisis yang digunakan diperoleh lamanya waktu jeda antara awal mulai hujan sampai dengan puncak banjir di Nanjung sekitar 11 jam untuk pos hujan Dampit, Ciparay, dan Cipadung dan sekitar 12 jam untuk pos hujan Bandung. Namun untuk daerah Dayeuhkolot diperlukan waktu sekitar 6 jam untuk mencapai waktu puncak banjir dengan menggunakan data hujan Dampit, Ciparay, dan Cipadung, sementara untuk data dari pos hujan Bandung diperlukan waktu sekitar 7 jam. Dengan diketahuinya waktu jeda yang cukup lama tersebut, diharapkan masih memiliki waktu untuk dapat memberikan peringatan kepada masyarakat yang bermukim di sekitar bantaran banjir Dayeuhkolot untuk mengevakuasi semua harta bendanya.

Kata kunci: Peringatan dini banjir, DAS Citarum Hulu, data telemetri, puncak banjir, jeda waktu

ABSTRACT

The frequent occurrence of floods in Dayeuhkolot (South Bandung-West Java) has become a great concern and various efforts of mitigations by structural approach like river normalization, dike construction and others were carried out to mitigate this condition. Unfortunately, results of these efforts were not optimum, and a non-structural approach was suggested by application of a telemetric rainfall data based flood early warning system. It is expected that this approach shall minimize risks commonly experienced by the community. This non-structural approach preceded by an analysis to indicate the time lag between the start of rainy season and flood peak resulted a time lag of eleven hours for the raingauges Dampit, Ciparay and Cipadung at Nanjung; and twelve hours for the Bandung raingauge. However, using the rainfall data collected at Dampit, Ciparay and Cipadung indicated approximately a six hour time lag for the Dayeuhkolot region to reach the flood peak and a seven hour time lag using data from the Bandung raingauge. By knowing the time lag, it is expected that an early warning will reach the community living on the floodplains in time for them to evacuate and save their property.

Keywords: Early warning system, Upper Citarum River Basin, telemetry data, flood peak, time lag

PENDAHULUAN

Sungai Citarum merupakan salah satu sungai potensial di Jawa Barat yang melintas di kota Dayeuhkolot, kawasan Bandung selatan yang padat pemukiman. Pada musim hujan alirannya dimanfaatkan untuk mengisi tiga buah waduk besar yang berada di bagian hilir Dayeuhkolot, berturut-turut Waduk Saguling, Waduk Cirata, dan

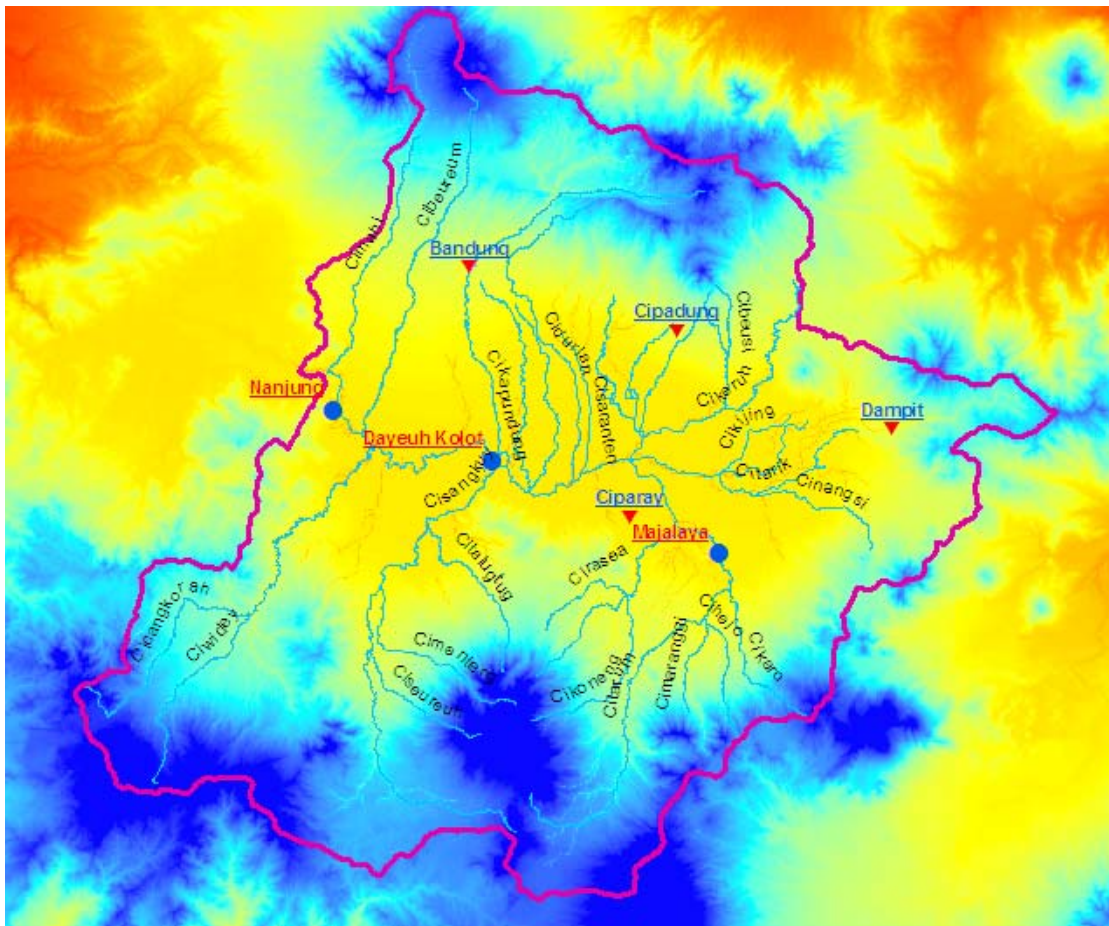
Waduk Djuanda. Waduk Saguling dan Cirata berfungsi untuk pembangkitan listrik, sedangkan Waduk Djuanda berfungsi sebagai waduk serbaguna, tetapi diutamakan untuk mengairi daerah irigasi seluas 200.000 Ha. Pada musim hujan yang sama, terjadi hal kontradiksi dimana sebelum masuk ke tiga waduk, aliran Sungai Citarum terlebih dahulu menggenangi pemukiman yang terletak di kawasan Dayeuhkolot.

Banjir adalah sebuah fenomena alam dan merupakan karakteristik dari sebuah sungai. Setiap tahun, sungai pasti mengalami banjir yang besarnya tergantung pada besarnya curah hujan. Hal ini terjadi juga pada Sungai Citarum, bahkan sejak abad ke-18, ketika musim hujan Sungai Citarum diketahui sering mengalami banjir (Rusnandar, 2008). Dahulu banjirnya tidak terlalu besar dan tidak terpublikasi, tetapi sekarang banjir yang terjadi luar biasa besar dan lama, menimbulkan korban baik jiwa maupun material. Ketika jumlah penduduk yang bermukim di bantaran sungai semakin padat, maka pada musim hujan, korban jiwa dan material tidak dapat dihindari. Pengalaman Kamboja dan Mozambik dalam menangani banjir senantiasa memberdayakan masyarakat terkena banjir untuk terlibat secara aktif. Pemerintah hanya berperan sebagai inovator melalui program diseminasi.

Penanggulangan banjir Sungai Citarum telah dilakukan oleh pemerintah sejak tahun 1980-an melalui perbaikan struktural, yaitu program

pengerukan dan pelurusan sungai, tetapi belum sampai kepada pendekatan nonstruktural. Pendekatan nonstruktural yang dimaksud adalah pemberdayaan masyarakat yang bermukim di bantaran banjir Sungai Citarum dalam mengantisipasi datangnya banjir agar tidak menimbulkan dampak negatif. Belum ada infrastruktur informasi banjir yang difasilitasi oleh pemerintah, padahal kejadian banjir Sungai Citarum hampir terjadi setiap tahun.

Tahap awal dari penelitian ini adalah melakukan penelitian karakteristik perjalanan waktu (*time routing*) banjir dari Sungai Citarik, Sungai Cikeruh, Sungai Cirasea, dan Cikapundung berbasis data kejadian hujan yang dipantau dari pos hujan telemetri berturut-turut di Cipadung, Dampit, Ciparay, dan Bandung. Perjalanan waktu banjir tersebut dapat dipergunakan untuk peringatan dini banjir dan disosialisasikan kepada masyarakat di daerah hilir melalui peralatan komunikasi yang tersedia.



Gambar 1 Gambar Batas DAS Citarum Hulu dan Lokasi Pos Telemetri Hidrologi.

Lokasi kegiatan penelitian di sub-DAS Cikeruh dan sub-DAS Citarik dimana pos hujan berada sampai pos duga air di Sungai Citarum - Nanjung. Panjang sungai yang diteliti dari Cikeruh dan Citarik sampai ke Dayeuhkolot sekitar 20 km dan dari Dayeuhkolot sampai Nanjung sekitar 20 km. Pengumpulan data hujan dan muka air telemetri, analisis korelasi data hujan telemetri dan hidrograf banjir yang direkam di Nanjung. Adapun lokasi DAS Citarum Hulu dan lokasi pos telemetri hidrologi yang terpasang dapat dilihat pada Gambar 1.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui lama waktu perjalanan banjir setelah terjadi besaran hujan tertentu di bagian hulu sampai ke Dayeuhkolot dan Nanjung.

Manfaat dari penelitian ini adalah memberikan informasi dini kepada masyarakat yang bermukim di sekitar Dayeuhkolot tentang kemungkinan datangnya banjir. Informasi ini guna menghindari terjadinya korban jiwa dan harta benda.

KAJIAN PUSTAKA

Hasil ini realistis dari sudut pandang fisik. Dari sudut pandang matematika murni, penggunaan $Q(0) = I(0)$ sebagai kondisi awal mungkin tampak baik-baik saja dan *unobjectionable* tetapi tidak dapat diterima dari sudut pandang praktis. Fitur ini selalu dianggap sebagai tidak realistis dan kelemahan penting dari metode Muskingum. Karena tidak ada alasan a priori untuk mengikuti kondisi awal $Q(0) = I(0)$ dan dengan mempertimbangkan fakta fisik menunjukkan penggunaan jeda waktu antara mencapai masuk dan keluar, telah diusulkan oleh penulis di awal publikasi dan di sini juga bahwa jeda waktu yang cocok harus dimasukkan pada keadaan awal. Jika, sehingga $Q(t) = I(0)$ digunakan dalam analisis ini sebagai kondisi awal, hasil realistis seluruhnya dihapus dari hidrograf *outflow*. Jeda waktu dapat dihitung dengan menyamakan volume banjir di bawah hidrograf *inflow* dan *outflow*.

Telah ditunjukkan oleh Gill (1984), bahwa konsep jeda waktu (*time lag*) secara fisik masuk akal dan konsisten sehingga memberikan hasil yang wajar. Tanpa menggunakan jeda waktu, hidrograf *outflow* selalu memberikan hasil yang tidak realistis selama $0 < t < k$. Hal ini juga diperdebatkan dan akhirnya disimpulkan, bahwa benar-benar ada alasan untuk tidak menerima $Q(0) = I(0)$ sebagai satu-satunya kondisi awal yang benar pada metode Muskingum. Kondisi awal konvensional dengan mengabaikan jeda waktu

memang dianggap benar dan hasilnya sudah diprediksi menjadi tidak realistis.

Suyatmoko, 2010 melakukan penelitian penelusuran banjir (*flood routing*) di Kali Brantas dengan menggunakan metode Muskingum. Data yang dipergunakan adalah data debit dari pos debit Gadang yang terletak di hulu dan pos debit Sengguruh yang terletak di hilir. Hasil yang diperoleh adalah puncak debit di Sengguruh lebih rendah dari pada puncak banjir di Gadang. Menurut Suyatmoko, rendahnya puncak banjir di Sengguruh diakibatkan oleh adanya tampungan (*storage*) antara kedua pos debit. Dari karakter banjir yang terjadi di semua sungai, bahwa puncak banjir di hilir (*outflow*) selalu lebih rendah dari pada puncak banjir di hulu (*inflow*). Apa yang dinyatakan oleh penulis seolah tidak benar, yang diharapkan penulis puncak banjir di hilir seharusnya lebih tinggi dari pada puncak banjir di hulu. Sesuai dengan morfologi sungai, dimensi saluran di hilir biasanya lebih lebar, dan oleh karena itu dengan jeda waktu tertentu puncak banjir di hilir pasti lebih rendah dengan volume yang sama atau lebih besar.

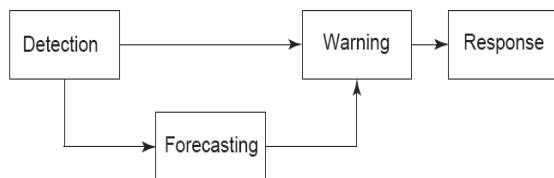
Wilayah Afrika Selatan mengalami banjir yang luas pada tahun 2000. Penggunaan model hidrologi dapat membantu mengurangi kerugian jiwa dan materi di daerah dengan meningkatkan pemantauan dan prediksi untuk memandu kegiatan bantuan. Menurut Guleid, 2002, dalam studi ini, digunakan model hidrologi yang dikembangkan untuk daerah yang luas untuk memantau risiko banjir di wilayah Afrika Selatan. Model tersebut adalah model aliran sungai (*Stream Flow Model, SFM*) yang diupayakan mengestimasi hujan harian dan evapotranspirasi yang diturunkan dari data penginderaan jauh dan penyesuaian lapangan. Keterampilan Model prediksi diverifikasi dengan data pengamatan data aliran sungai dari beberapa lokasi di dalam Daerah Aliran Sungai (DAS) Limpopo. Model ini menunjukkan hasil yang baik dalam simulasi waktu dan besarnya aliran sungai selama kejadian banjir di Mozambik pada tahun 2000.

Model SFM yang digunakan pada dasarnya tidak menggambarkan peringatan dini banjir, tetapi lebih diutamakan dalam memandu kegiatan bantuan. Dari ketiga penelitian tersebut belum terlihat peringatan dini dalam arti yang sebenarnya, yaitu peringatan dini berbasis data hujan telemetri, sesuai dengan kondisi data yang ada.

Untuk melakukan peringatan dini banjir (*flood warning*) terdapat beberapa tahapan untuk dapat tercapai secara efektif. Tahapan-tahapan tersebut adalah (Werner, Schellekens and Kwadijk, 2005):

- 1 *Detection*. Pada tahapan ini data tepat waktu (*real time*) diproses dan dimonitor untuk mendapatkan informasi tentang banjir yang mungkin terjadi, informasi tersebut selanjutnya diteruskan untuk melakukan peringatan (*warning*) tanpa melalui *forecasting*.
- 2 *Forecasting*. Pada tahapan ini dilakukan peramalan terhadap data tinggi muka air atau debit aliran banjir serta waktu datangnya banjir tersebut. Dengan diketahuinya kejadian banjir tersebut maka dapat diteruskan untuk melakukan peringatan (*warning*)
- 3 *Warning and dissemination*. Tahapan ini merupakan faktor kunci sukses dalam sistem peringatan banjir (*flood warning*). Menggunakan informasi yang diperoleh dari tahapan *detection* ataupun *forecasting*, maka pihak yang bertanggungjawab dapat menyebarkan informasi tersebut untuk dapat meminimalisasi risiko yang ditimbulkannya.
- 4 *Response*. Tanggap terhadap isu peringatan banjir merupakan hal yang sangat penting untuk tercapainya tujuan pelaksanaan peringatan banjir (*flood warning*). Jika tujuan dari peringatan banjir adalah untuk mengurangi kerusakan melalui siaga banjir, maka tanggap secara tepat dengan personil yang telah siap untuk melakukan evakuasi terhadap datangnya banjir.

Tahapan-tahapan tersebut dapat diilustrasikan melalui diagram seperti dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Tahapan-tahapan dalam pencapaian *effective flood warning*.

Berdasarkan tahapan yang terjadi seperti pada Gambar 2 tersebut, maka *flood forecasting* merupakan bagian dari proses sistem peringatan banjir, *flood warning system* (Werner, Schellekens and Kwadijk, 2005). Klasifikasi sistem prakiraan banjir yang sederhana dapat ditentukan dengan membandingkan waktu tunggu, *lead time* (T_d) yang diharapkan dengan waktu proses hidrologi pada lokasi yang akan diprakirakan (T_p). Waktu tunggu (*Lead time*) yang diharapkan adalah waktu yang diperlukan untuk melaksanakan tahapan akhir dari proses *effective flood warning* yaitu *warning* dan *response*. Dari sudut pandang tersebut (waktu

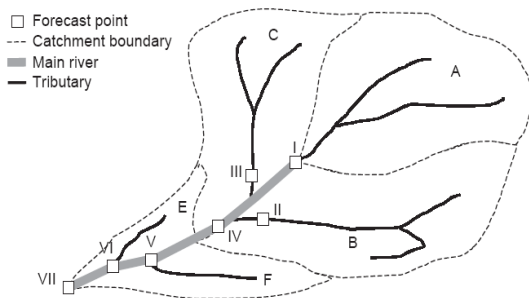
tunggu), prakiraan yang berbeda dengan tujuan yang berbeda juga, dilakukan pemisahan antara prakiraan sekarang, *nowcasting* (beberapa jam), prakiraan jangka pendek, *short range forecasting* (jam sampai dua hari), prakiraan jangka menengah, *medium range forecasting* (2-10 hari), dan jangka waktu panjang serta prakiraan musiman, *long and seasonal range forecasting* (10 hari – satu tahun). Waktu proses hidrologi (T_p) sama dengan konsep hidrologi umum untuk *time to peak*. Untuk memulai suatu sistem peringatan, lebih tepat untuk mempertimbangkan waktu antara kejadian hujan yang terjadi dengan terlampauinya batas ambang peringatan. Jika batas ambang banjir terlampaui, peringatan dapat diinformasikan dan dilakukan tanggap banjir yang tepat. Waktu proses hidrologi dapat lebih lanjut dibagi menjadi waktu yang diperlukan air untuk mengalir melalui saluran sungai (T_c) dan waktu yang diperlukan air untuk mengalir dari lahan ke dalam sungai, T_s (Werner, Schellekens and Kwadijk, 2005).

Pembagian antara lahan dan saluran sungai mungkin agak berubah-ubah, tetapi secara umum, saluran sungai dianggap sebagai sungai utama (sistem), sementara reaksi dari lahan adalah reaksi dari DAS atau sub-DAS sebelum aliran masuk ke dalam sistem sungai utama (lihat Gambar 3). Berdasarkan waktu karakteristik tersebut, Lettenmaier dan Wood pada tahun 1993 telah menentukan empat kondisi, yaitu (Werner, Schellekens and Kwadijk, 2005):

- 1 $T_d < T_c$ atau $T_s \ll T_c$. Waktu tunggu yang diharapkan adalah sedemikian rupa sehingga peringatan yang akan diinformasikan dilakukan berdasarkan air yang sudah ada dalam saluran sungai utama; atau perbandingan waktu yang diperlukan oleh air untuk mengalir dari lahan ke dalam sungai kecil terhadap waktu yang diperlukan air untuk mengalir melalui sungai utama. Kondisi ini mungkin terjadi untuk prakiraan titik VII pada Gambar 3, dengan asumsi bahwa DAS E dan F hanya sedikit berpengaruh terhadap kejadian banjir.
- 2 $T_d < T_p$ dan $T_c \approx T_s$. Waktu tunggu yang diharapkan adalah sedemikian rupa sehingga peringatan yang akan diinformasikan dilakukan berdasarkan air yang masih ada pada lahan, dan waktu tanggap ditentukan oleh waktu yang diperlukan untuk mengalir dari lahan dan waktu yang diperlukan untuk mengalir melalui sungai utama. Kondisi ini mungkin terjadi pada titik prakiraan titik IV Gambar 3.
- 3 $T_d < T_p$ dan $T_s \gg T_c$. Waktu tunggu yang diharapkan adalah sedemikian rupa sehingga peringatan yang akan diinformasikan dilakukan berdasarkan air yang masih ada pada lahan, dan waktu tanggap terutama ditentukan oleh waktu yang diperlukan untuk mengalir dari

lahan ke dalam saluran sungai. Kondisi ini mungkin terjadi pada titik prakiraan titik I Gambar 3.

- 4 $T_d > T_p$. Waktu tunggu yang diharapkan adalah sedemikian rupa sehingga peringatan yang akan diinformasikan dilakukan berdasarkan air yang belum jatuh sebagai hujan. Untuk kondisi ini prakiraan cuaca diperlukan juga untuk prakiraan tepat pada waktunya.



Gambar 3 Skematisasi pembagian sub-DAS.

Kondisi pada butir 1 sampai 3 secara khusus digunakan untuk prakiraan jangka pendek daerah sungai yang sedang dan besar. Kondisi 4 secara khusus digunakan untuk prakiraan jangka menengah atau jangka panjang untuk daerah sungai besar atau prakiraan daerah sungai kecil (menyolok).

HIPOTESIS

Besaran curah hujan > 10 mm/jam yang terukur di pos telemetri Cipadung, Dampit, Ciparay, dan Bandung dapat menentukan peringatan dini banjir di Dayeuhkolot.

METODOLOGI

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini meliputi: pengumpulan data hujan dan muka air sesaat dan informasi hujan selain pos hujan telemetri; studi literatur; analisis data hujan dan hidrograf muka air sesaat pada lokasi pos yang tersedia secara tepat waktu (*real time*); serta analisis waktu perjalanan banjir dari Dayeuhkolot ke Nanjung.

1 Pengumpulan data hujan dan informasi

Data yang diperlukan untuk penelitian ini adalah data curah hujan dan tinggi muka air sesaat yang terjadi pada kejadian hujan (*event*) yang waktunya kurang lebih hampir sama. Data yang dianggap mewakili berasal dari hasil pencatatan

pos telemetri di Cipadung (Sub-DAS Cipamokolan), di Dampit (Sub-DAS Citarik dan Cikeruh), Ciparay (Sub-DAS Cirasea) dan Bandung (Sub-DAS Cikapundung). Data lain yang dibutuhkan adalah hidrograf tinggi muka di pos AWLR Nanjung.

2 Studi literatur

Dalam kegiatan ini telah dilakukan penelusuran literatur dari berbagai sumber untuk mempelajari teknik peringatan dini yang pernah diterapkan di dunia. Literatur tersebut dapat berupa laporan teknik, buku-buku standar, jurnal, situs dan lain-lain.

3 Analisis data hujan dan hidrograf muka air sesaat

Data hujan yang dikumpulkan adalah data hujan 5 menitan agar dapat diketahui intensitas curah hujannya. Dari data hujan 5 menitan dapat diubah menjadi data hujan jam-jam sesuai dengan kebutuhan. Demikian juga dengan data tinggi muka air. Untuk mengetahui data hujan mana yang menyebabkan naiknya tinggi muka air, maka perlu melakukan pemeriksaan data hujan dari pos hujan manual. Data hujan tersebut hanya untuk memastikan, bahwa naiknya muka air di Nanjung memang akibat hujan yang jatuh dari pos hujan Cipadung, Dampit, Ciparay, dan Bandung.

4 Analisis waktu perjalanan banjir dari Dayeuhkolot ke Nanjung

Pada tahapan ini, diperlukan waktu perjalanan banjir dari Dayeuhkolot ke Nanjung. Dengan diketahuinya waktu perjalanan banjir ini, maka waktu perjalanan banjir dari lahan (*catchment*) yang diperoleh informasinya dari data hujan telemetri, dapat diprediksi sampai ke Dayeuhkolot. Perhitungan waktu perjalanan banjir dari Dayeuhkolot ke Nanjung dilakukan dengan dua cara, yaitu; menggunakan perhitungan secara matematis berdasarkan pada informasi data karakteristik geometri sungai dan menggunakan analisis perbandingan hidrograf banjir dari kedua pos tersebut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1 Lamanya Waktu untuk Pencapaian Puncak Banjir

Dari penelusuran data hujan telemetri di pos Cipadung, Dampit, Ciparay, dan Bandung dapat dicari korelasi antara intensitas hujan di tiap pos dengan kenaikan muka air yang dipantau di pos Nanjung. Kejadian hujan (*event*) di pos Cipadung yang dianggap signifikan ternyata mempunyai korelasi dengan kenaikan muka air Sungai Citarum

- Nanjung. Dari 12 kejadian hujan, seperti pada Tabel 1, semuanya menunjukkan korelasi yang positif. Lamanya waktu menuju puncak banjir (*time to peak*) bervariasi antara 5 - 14 jam dengan rata-rata sekitar 9 jam, dan lamanya jeda waktu

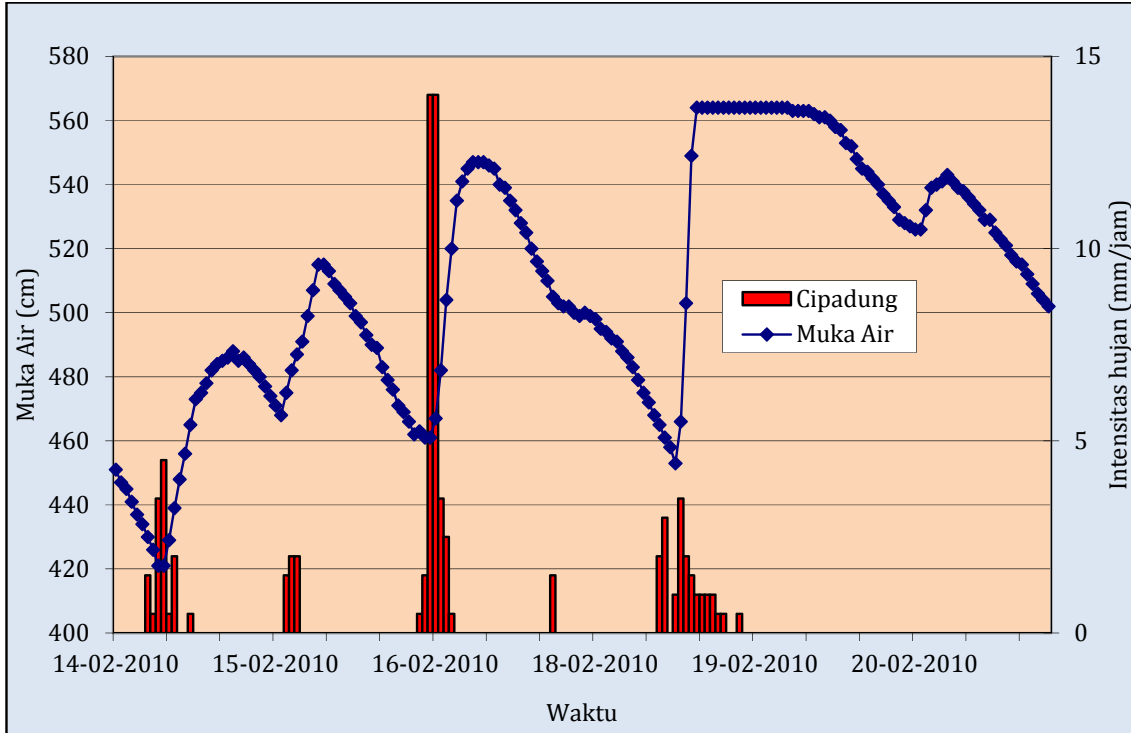
(*time lag*) antara kejadian hujan dengan awal naiknya muka air di Nanjung berkisar antara 1 - 3 jam dengan rata-rata 1,67 jam untuk pos hujan Cipadung. Untuk jelasnya, dapat dilihat pada Gambar 4.

Tabel 1 Kejadian Banjir dan intensitas hujan di Cipadung

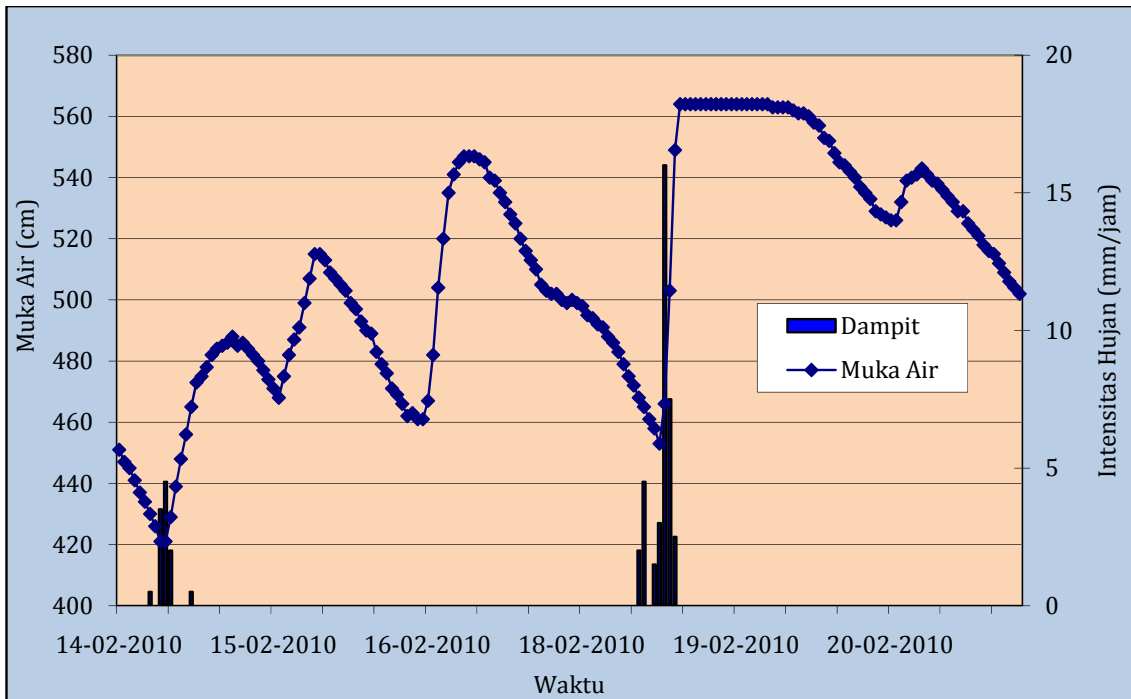
Cipadung					
No	Muka Air (cm)	<i>Time to Peak</i> (jam)	Intensitas Hujan Maksimum (mm/jam)	Jumlah Hujan (mm)	<i>Lag time</i> (jam)
1	67	14	4,5	13	3
2	47	7	2	5,5	1
3	106	9	14	36,5	3
4	111	5	3,5	18,5	1
5	132	10	3,5	11	2
6	188	8	1,5	48,5	1
7	100	9	49,5	55,5	2
8	51	9	4,5	16,5	2
9	168	9	7,5	24,5	1
10	114	11	7	11	1
11	91	8	7	24	1
12	150	12	14,5	59,5	2

Tabel 2 Kejadian Banjir dan intensitas hujan di Dampit

Dampit					
No	Muka Air (cm)	<i>Time to Peak</i> (jam)	Intensitas Hujan Maksimum (mm/jam)	Jumlah Hujan (mm)	<i>Lag time</i> (jam)
1	67	14	4,5	11	1
2	111	5	16	37	2
3	132	10	6,5	18	1
4	35	5	6	7	2
5	188	8	14	27	4
6	100	9	16	31	1
7	51	9	10	29	4
8	168	9	8	15	1
9	114	11	37	46	1
10	91	8	14,5	28,5	1
11	150	12	8	30	1



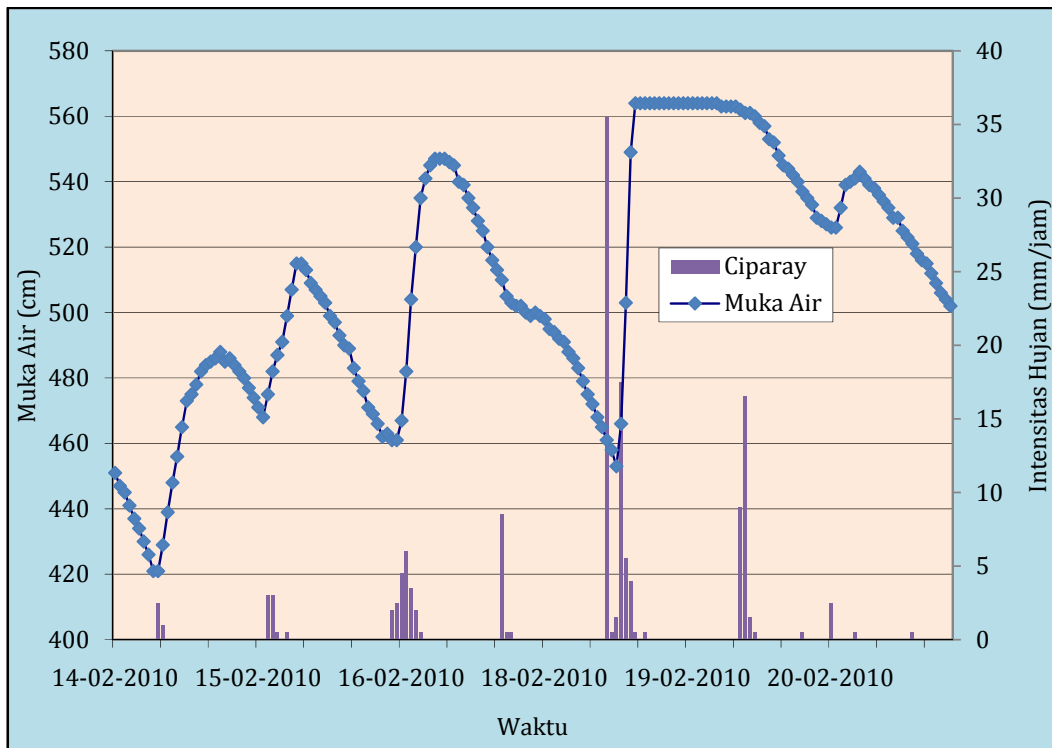
Gambar 4 Hidrograf Muka Air Nanjung dan Hietograf Hujan di Cipadung



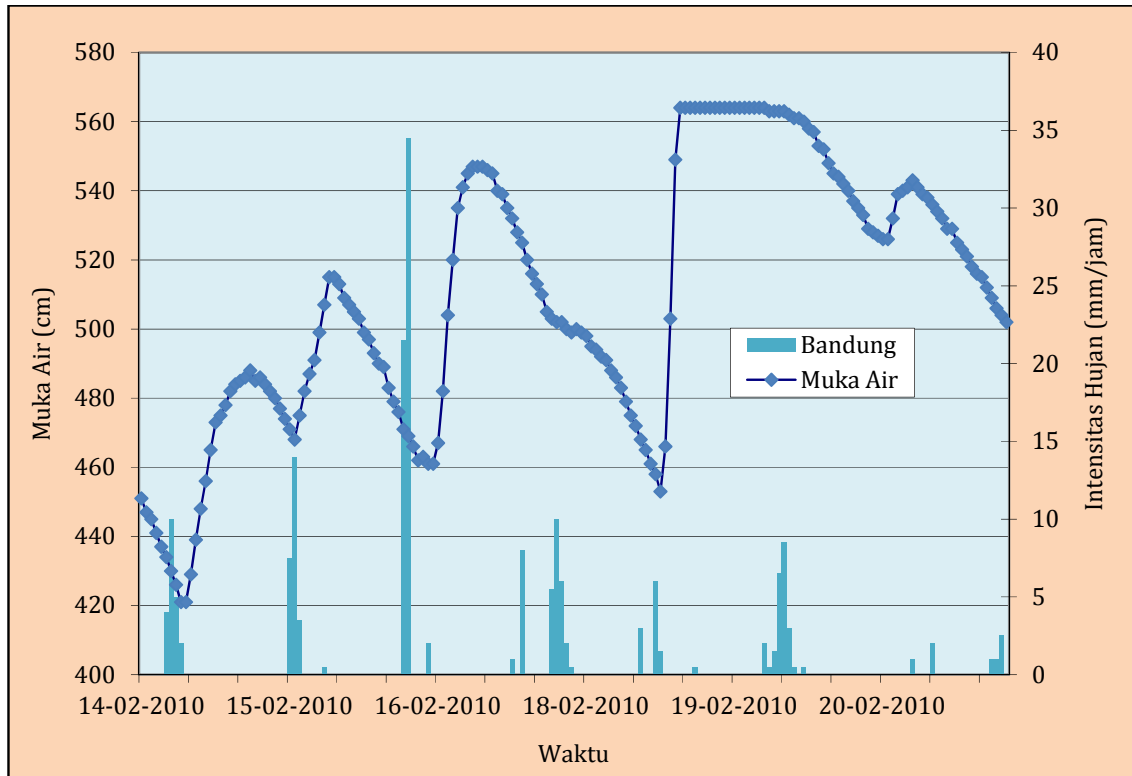
Gambar 5 Hidrograf Muka Air Nanjung dan Hietograf Hujan di Dampit

Tabel 3 Kejadian Banjir dan intensitas hujan di Ciparay

Ciparay					
No	Muka Air (cm)	Time to Peak (jam)	Intensitas Hujan Maksimum (mm/jam)	Jumlah Hujan (mm)	Lag time (jam)
1	67	14	2,5	3,5	1
2	47	7	3	7	1
3	106	9	6	21	1
4	111	5	35,5	65,5	2
5	132	10	31,5	43,5	1
6	188	8	29,5	93,5	3
7	123	13	34	65	1
8	100	9	45	64	3
9	51	9	7,5	18	3
10	168	9	6	9,5	3
11	114	11	12	29,5	3
12	91	8	36	43	1
13	150	12	38,5	88	3



Gambar 6 Hidrograf Muka Air Nanjung dan Hietograf Hujan di Ciparay



Gambar 7 Hidrograf Muka Air Nanjung dan Hietograf Hujan di Bandung

Tabel 4 Kejadian Banjir dan intensitas hujan di Bandung

Bandung					
No	Muka Air (cm)	Time to Peak (jam)	Intensitas Hujan Maksimum (mm/jam)	Jumlah Hujan (mm)	Lag time (jam)
1	67	14	10	21	4
2	47	7	14	25	1
3	106	9	34,5	56	5
4	111	5	6	10,5	4

Dari data hujan yang dipantau di pos Dampit terdapat 11 kejadian hujan, seperti pada Tabel 2. Semua kejadian hujan tersebut menunjukkan korelasi positif dengan waktu jeda antara waktu mulai hujan dengan awal naiknya muka air di Nanjung tiap kejadian hujan bervariasi antara 1 - 4 jam dengan rata-rata waktu tersebut 1,72 jam, dan waktu yang diperlukan dari awal naiknya muka air sampai pada puncak banjir (*time to peak*) di Nanjung berkisar antara 5 - 14 jam dengan rata-rata 9 jam. Korelasi tersebut dapat dilihat pada Gambar 5. Kejadian hujan dari Pos Ciparay yang berjumlah 13 buah, seperti terlihat pada Tabel 3

mempunyai korelasi yang dapat menyebabkan naiknya muka air di Pos Nanjung. Jeda waktu yang ditunjukkan antara kejadian hujan sampai terjadinya awal naiknya muka air berkisar antara 1 - 3 jam dengan rata-rata sekitar 2 jam, dan lamanya waktu yang diperlukan untuk awal naiknya muka air sampai pada puncak banjir berkisar antara 5 - 14 jam dengan rata-rata sekitar 9 jam, seperti terlihat pada Gambar 6. Hal yang sama terjadi pada kejadian hujan di Bandung seperti terlihat pada Tabel 4 dengan lamanya waktu jeda antara mulainya hujan dengan naiknya muka air di Nanjung berkisar antara 1 - 5 jam dengan rata-rata 3,5 jam. Dari hasil analisis ini menunjukkan bahwa Pos Hujan Bandung memiliki waktu yang lebih lama dibandingkan dengan pos

yang lainnya. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 7.

2 Analisis Waktu Perjalanan Air dari Dayeuhkolot ke Nanjung

Waktu yang diperlukan air untuk menuju sampai di Nanjung sangat diperlukan untuk dapat menentukan waktu yang diperlukan limpasan permukaan dari hujan sampai di Dayeuhkolot, merupakan daerah yang sering mengalami banjir dan perlu peringatan untuk dapat meminimalisasi kerugian. Karena di Dayeuhkolot tidak tersedia data muka air telemetri maka data yang digunakan adalah data yang berada di hilirnya yaitu Nanjung. Oleh karena itu, untuk dapat menentukan waktu yang diperlukan air yang digunakan dari hujan sampai pada Dayeuhkolot, maka waktu yang diperlukan untuk sampai pada daerah Nanjung tersebut harus dikurangi dengan waktu perjalanan air dari Dayeuhkolot menuju Nanjung.

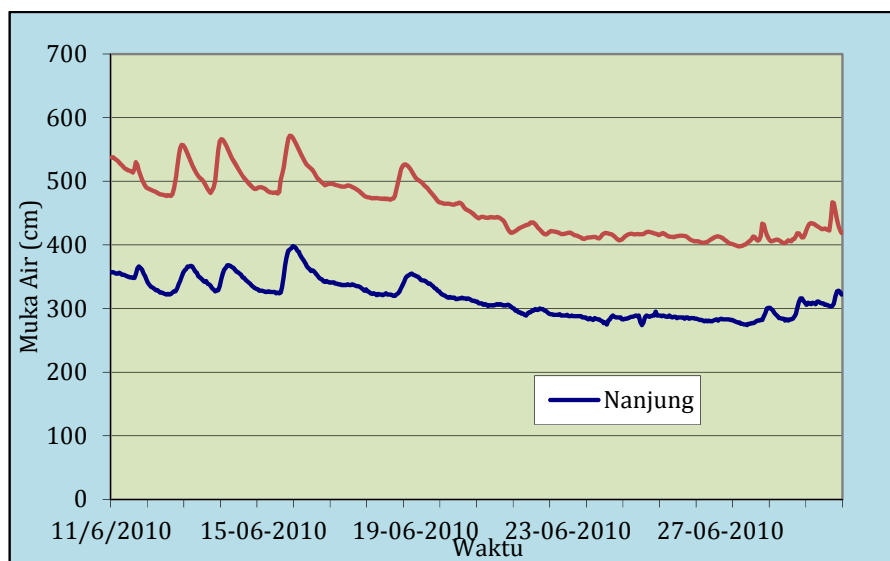
Waktu yang diperlukan dari Dayeuhkolot menuju Nanjung diperkirakan dari panjang sungai dari Dayeuhkolot ke Nanjung dan kecepatan rata-rata banjir yang terjadi. Pada saat terjadi banjir besar di DAS Citarum (asumsi hujan homogen di seluruh DAS Citarum), kecepatan aliran di Dayeuhkolot berkisar antara 1,15 - 1,37 m/detik. Kecepatan aliran tersebut sebenarnya sangat rendah jika terjadi pada saat banjir. Hal ini tidak lain disebabkan oleh gradien alur Sungai Citarum yang sangat rendah, yaitu 0,000347 (Syariman dan Lubis, 2007). Dari hasil pengukuran, bahwa panjang sungai dari Dayeuhkolot sampai ke Nanjung sekitar 27 km (27000 m), dan apabila

diperkirakan kecepatan rata-rata banjir sekitar 1,5 m/s, maka diperoleh waktu perjalanan air dari Dayeuhkolot ke Nanjung sekitar 5 jam. Dengan diketahuinya waktu perjalanan air tersebut, maka dapat diketahui waktu perjalanan air sampai pada Dayeuhkolot.

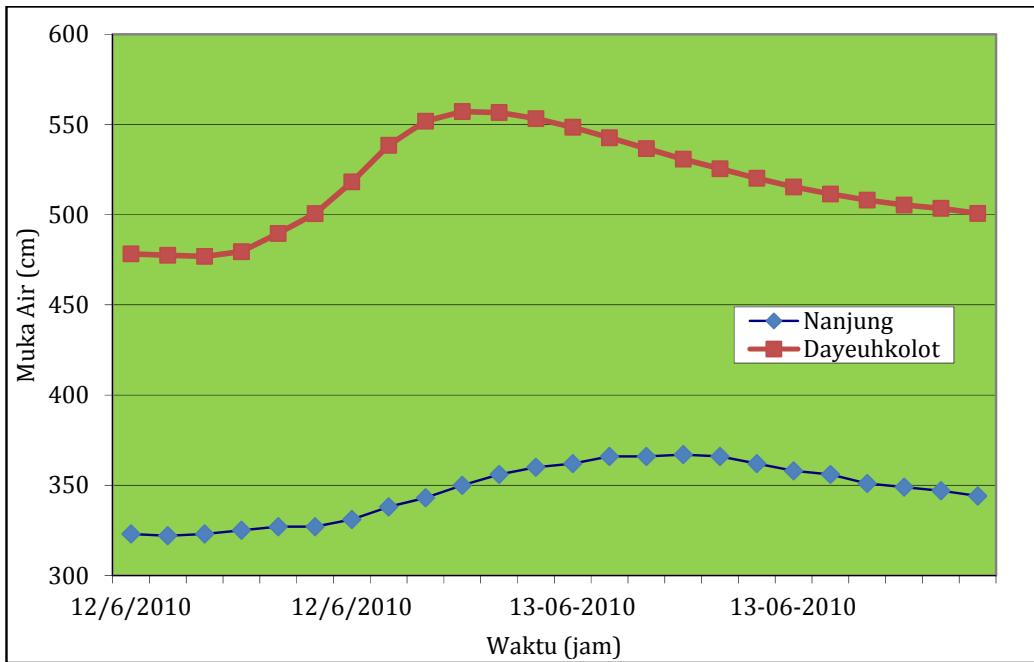
Pendekatan lainnya yang dilakukan untuk menentukan lamanya waktu perjalanan air dari Dayeuhkolot sampai dengan Nanjung adalah menggunakan analisis grafis dengan membandingkan hidrograf di kedua lokasi tersebut. Hasil perbandingan kedua hidrograf muka air tersebut dapat dilihat pada Gambar 8.

Berdasarkan Gambar 8 tersebut, diperoleh sekitar empat kejadian yang memiliki peningkatan muka air yang sangat besar. Dari empat kejadian besar tersebut selanjutnya diperbesar skalanya (*zoom*) untuk melihat seberapa lama jeda waktu antara kedua hidrograf tersebut. Hasil perbesaran skala tersebut dapat dilihat pada Gambar 9 dan Gambar 10, dan jeda waktunya yang dapat dihitung adalah berkisar antara 5 - 6 jam. Hal ini mengindikasikan bahwa perhitungan dengan menggunakan metode sebelumnya dapat diterima.

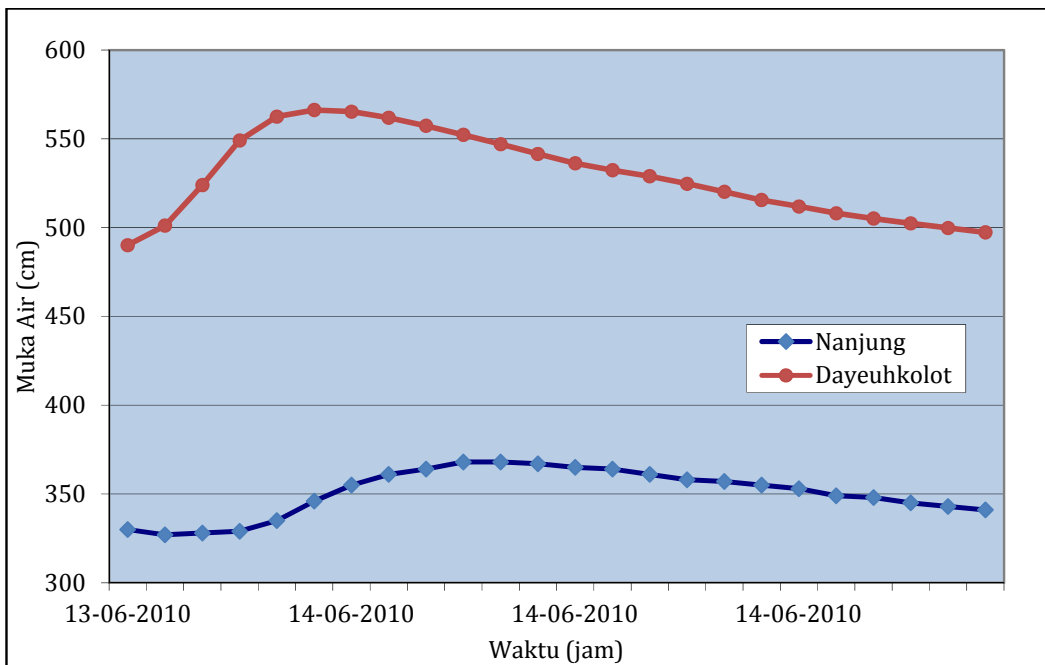
Mempelajari kejadian hujan di DAS Citarum cukup unik, karena ternyata curah hujan dalam suatu DAS jarang terjadi secara bersamaan atau simultan, apalagi dengan intensitas hujan yang sama. Sekurang-kurangnya terdapat perbedaan 1 jam antara kejadian hujan yang satu dengan yang lainnya. Tabel 1 - Tabel 4 menunjukkan kejadian hujan pada tanggal yang sama, tetapi terjadi pada jam dan intensitas yang berbeda.



Gambar 8 Perbandingan Kedua Hidrograf Muka Air di Nanjung dan Dayeuhkolot



Gambar 9 Hidrograf Muka Air Banjir di Nanjung dan Dayeuhkolot



Gambar 10 Hidrograf Muka Air Banjir di Nanjung dan Dayeuhkolot

Kejadian hujan yang tidak bersamaan cukup memudahkan untuk menentukan lamanya waktu mencapai puncak banjir di Nanjung.

Curah hujan di Cipadung dengan intensitas lebih dari 10 mm/jam akan menimbulkan banjir di Nanjung setelah 11 jam. Di Dampit dan Ciparay, dengan intensitas lebih dari 10 mm/jam menimbulkan banjir di Nanjung setelah 11 jam, sedangkan di Bandung dengan intensitas lebih dari 10 mm/jam meningkatkan muka air di Nanjung setelah 12 jam. Dengan mengetahui jeda waktu tersebut dapat dijadikan sebagai dasar menentukan peringatan dini banjir berbasis data hujan. Cara ini disadari masih ada kekurangan karena jumlah pos hujan telemetri yang ada belum mewakili seluruh DAS Citarum. Sebenarnya kondisi puncak banjir di Nanjung sudah mewakili kondisi banjir di Dayeuhkolot, namun sulit dimonitor karena Dayeuhkolot sudah terjadi banjir. Untuk mengetahui kondisi banjir di Dayeuhkolot yang sebenarnya, maka perlu dilakukan perhitungan lamanya waktu perjalanan banjir dari hulu sampai ke Dayeuhkolot seperti pada yang telah dihitung di atas. Dari hasil perhitungan bahwa waktu yang diperlukan dari Dayeuhkolot ke Nanjung sekitar 5 jam, maka jeda waktu dari awal hujan sampai terjadinya puncak banjir di Dayeuhkolot diperkirakan sekitar 6 jam untuk pos hujan Cipadung, Dampit dan Ciparay, sedangkan untuk pos Bandung diperkirakan sekitar 7 jam.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis di atas, maka dapat disimpulkan bahwa karakteristik banjir di Citarum khususnya di Citarum Hulu pada pos pemantauan Nanjung memiliki waktu untuk mencapai puncak banjir (*time to peak*) sekitar 5 – 14 jam dengan rata-rata sekitar 9 jam. Apabila dihitung mulai dari awal kejadian hujan, maka waktu yang diperlukan dari pos hujan, Dampit, Ciparay, dan Cipadung sekitar 11 jam untuk sampai di Nanjung dan sekitar 6 jam sampai di Dayeuhkolot, berbeda halnya apabila menggunakan pos hujan Bandung yang memiliki perbedaan dengan pos lainnya sekitar 1 jam, yaitu menjadi 6 jam. Jika dibandingkan dengan data muka air di Dayeuhkolot, maka waktu *flood routing* sekitar 5 – 6 jam menuju ke Nanjung. Dengan diketahuinya jeda waktu tersebut, maka sekurang-kurangnya dapat memberikan peringatan kepada masyarakat yang bermukim di sekitar dataran banjir untuk melakukan evakuasi dan menyelamatkan seluruh harta bendanya.

DAFTAR PUSTAKA

- Gill M.A, 1984. Time Lag Solution of the Muskingum Flood Routing Equation, *Nordic Hydrology* p145-154.
- Guleid A. Artan et.al, 2002. A Flood Early Warning System for Southern Africa, Pecora 15/Land Satellite Information IV/ISPRS Commission I/FIEOS, *Conference Proceedings*.
- Pusat Litbang Sumber Daya Air. 2011. *Prosiding Kolokium Hasil Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air. ISSN 1829-9644*.
- Rusnandar, N., 2008. Citarum: Dulu dan Kini. <http://sundasamanggaran.blogspot.com/2010/03/citarum-dulu-dan-kini.html> (diakses Jun 2011)
- Suyatmoko, S., 2010. Studi Penelusuran Banjir (Flood Routing) dengan Metode Muskingum antara Stasiun Debit Banjir Gadang sampai Stasiun Debit Banjir Sengguruh Di Sungai Brantas, Fak. Teknik Sipil Universitas Negeri Malang.
- Syariman, P dan Lubis, SR., 2007. Pengaruh Penurunan Elevasi Dasar Curug Jompong Terhadap Banjir di Dayeuhkolot, *Buletin Pusair Volume 16, No. 47*
- Werner, M G F., Schellekens, J and Kwadijk, JCJ., 2005. Flood Early Warning Systems for Hydrological (sub) Catchments. In *Encyclopedia of Hydrological Sciences vol 1*, Editors: Anderson, MG and McDonnell, J J, John Wiley & Sons Ltd.