

TEKNIK PERHITUNGAN BANJIR DESAIN UNTUK BENDUNGAN DENGAN DATA TERBATAS KHUSUSNYA DI INDONESIA

TECHNIQUE TO DETERMINE INFLOW DESIGN FLOOD FOR DAMS WITH LIMITED DATA

Wanny K. Adidarma

Balai Hidrologi dan Tata Air, Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air
Jalan Ir. H. Juanda No.193 Bandung 40135
e-mail: wannyadi@gmail.com

Diterima: 17 September 2013 ; Disetujui: 18 November 2013

ABSTRAK

Perkiraan banjir desain untuk bendungan mempunyai yang sering ditemui yaitu tidak lengkapnya data hidrologi yang dibutuhkan sehingga dipilih pendekatan empiris yang berasal dari luar negeri yang hasilnya menyimpang dari gambaran kondisi setempat karena cara tersebut murni blackbox. Dengan demikian perlu tersedianya metode yang cukup baik dalam pengertian mampu mencerminkan kondisi fisiknya seperti jenis tanah, tutupan lahan, topografinya serta mempertahankan keheterogenannya. Pemilihan kombinasi metode yang terdapat pada model hubungan hujan-limpasan harus mengarah pada suatu cara yang dapat diterapkan untuk kondisi tidak tersedia data hidrologi terutama pos duga air (ungaged catchment). Metode yang dianggap tepat untuk menyelesaikan masalah tersebut adalah perhitungan kehilangan (losses) dari NRCS menggunakan Curve Number, melalui proses kalibrasi terlebih dahulu untuk mengvalidasi kehandalan metode tersebut. Dalam menerapkannya diperlukan peta Hydrologic Soil Group dan biasanya tidak tersedia untuk wilayah Indonesia sehingga dibutuhkan suatu teknik yang mampu menyelesaikan semua masalah yang dihadapi dengan menggunakan data yang tersedia. Teknik perhitungan tersebut diuji pada lima buah DAS luasnya dari kecil (4,2 km²) sampai besar (1718 km²) dengan hasil kalibrasi cukup baik sehingga dapat diterapkan pada DAS yang tidak mempunyai data.

Kata kunci: Banjir, data hidrologi, hidrogeologi, hydrologic soil group, pos duga air

ABSTRACT

Estimation of Inflow Design Flood for dams sometimes face some constraints due to inadequate of hydrological data consequently empirical approaches which is purely black box are selected and are not able to produce reliable design flood. A conceptual models, has an ability to represent a real world of flood flows through digital map of soil type, land use, topography and preserve the heterogeneity of physical condition. The selection of methods and their combination in hydrological models for ungaged watersheds are required. The selected technique is tested through a calibration method, comparing the discharge hydrograph simulated and observed, and validate analyzed Curve Number. In applying these method, we do not have Hydrologic Soil Groups so that a development of HSG transformed from another soil map is needed. The technique to determine inflow design flood is tested through calibration analysis, applied to 5 watersheds, ranging from 4 km² catchment area to 1718 km² basin area in Java, Sumatera and Kalimantan, resulting an excellent reconstitution of discharge hydrograph or water level hydrograph, meaning that the above technique is able to be applied to the ungaged watersheds.

Keywords: Flood, hidrological data, hidrogeologi, hydrologic soil groups, postal quest water

PENDAHULUAN

Dimensi bendungan utama dan bangunan pelengkap membutuhkan besaran banjir desain dengan kala ulang rendah sampai dengan tertinggi yaitu Banjir Maksimum Bolehjadi demi keamanan bendung tersebut dari bahaya jebol atau jatuhnya

bendungan akibat ketidakmampuannya menahan banjir yang masuk. Pemilihan metode yang tepat untuk memperkirakan besaran banjir rencana merupakan bagian dari keamanan bendungan.

Model hubungan hujan-limpasan menggunakan perangkat lunak HEC HMS

merupakan pilihan metode karena model tersebut mudah diakses serta menawarkan banyak kombinasi metode dari perhitungan kehilangan (losses), transformasi (unit hidrograf), aliran dasar serta penelusuran banjir. Perhitungan kehilangan akibat resapan pada waktu banjir terjadi mempengaruhi besaran puncak dan volume banjir. Salah satu metode yang banyak digunakan untuk memperkirakan hujan efektif yang sama dengan hujan total dikurangi kehilangan adalah Metode SCS atau sekarang menjadi NRCS (Natural Resources Conservation Services). Metode ini mempunyai kelebihan dapat digunakan untuk wilayah yang tidak mempunyai data hidrograf banjir hasil pengamatan maupun Tinggi Muka Air Waduk, tetapi data hujannya tersedia. Metode ini berpatokan pada nilai Curve Number (CN) yang merupakan nilai index untuk menentukan besarnya curah hujan yang menjadi aliran dan masuk pada system jaringan sungai. Penentuan CN memerlukan ketersediaan peta Hydrologic Soil Group (HSG) yang pada kenyataannya harus dibuat melalui peta lain yang mengandung parameter yang dibutuhkan oleh HSG. Transformasi peta yang satu ke peta yang lain memerlukan criteria yang mendasari kedua jenis peta tersebut, setelah itu perlu pengujian validasinya melalui tahap kalibrasi menggunakan Model Hubungan Hujan-Limpasan seperti HEC HMS.

Ada beberapa kendala yang harus dihadapi berkenaan dengan metode tersebut diatas dan dicari solusinya, karena ketersediaan data yang terbatas sehingga perlu dilakukan penyesuaian metode dengan tidak mengabaikan tahap validasi untuk memeriksa keakuratannya.

Data yang diperlukan dalam studi ini meyangkut data hidrologi dan peta digital. Data hidrologi meliputi hidrograf banjir (atau data tinggi muka air waduk) dan data hujan harian dan atau jam-jaman dari beberapa kejadian banjir dan harus dilengkapi dengan peta digital dari Hidrogeologi, Tata Guna Lahan dan Digital Elevation Model serta peta topografi dari Bakosurtanal. Lokasi DAS yang mempunyai data lengkap meliputi:

- 1 Waduk Penjalin di WS Pemali Comal dengan luas 4,2 km² dengan luas waduk 1,05 km²
- 2 Waduk Ketro di Bengawan Solo Hulu , luas DAS 5,1 km² dan luas waduk 0,6 km²
- 3 Waduk Manggar di Kalimantan Timur, luas DAS 44,6 km² dan luas genangan 4 km²
- 4 DAS Way Humarabalak-Banjaragung di Lampung, dengan luas 140 km²
- 5 DAS Citarum-Nanjung dengan luas 1718 km²

Pemilihan Debit Banjir Desain yaitu aliran banjir yang masuk ke waduk dalam jangka waktu tertentu seperti beberapa jam atau beberapa hari

dan digunakan dalam desain bendungan sangat diperlukan untuk menjamin keamanan bendungan terhadap banjir (SNI 03-3432-1994).

Konsekuensi daerah hilir, yang kemungkinan dapat terkena banjir apabila bendungan runtuh pada umumnya berpotensi menimbulkan bencana besar untuk sebagian besar bendungan di Indonesia Dengan demikian debit banjir desain yang harus dipilih biasanya minimal 1000 tahunan atau setengah Banjir Maksimum Bolehjadi (BMB). BMB merupakan banjir yang berasal dari kondisi meteorologi kritis yang merupakan kombinasi dari parameter yang bernilai ekstrim disertai kondisi hidrologi yang juga cukup parah yang cukup beralasan untuk boleh terjadi pada suatu DAS.

Ketersediaan data hidrologi di Indonesia seringkali memaksa untuk melakukan perhitungan Debit Banjir Desain pada lokasi yang tidak mempunyai pencatatan Tinggi Muka Air (TMA) di sungai maupun waduk atau hidrograf debit aliran banjir dengan interval satu jam atau kurang. Metodologi yang tepat untuk kondisi tersebut adalah Model Hidrologi untuk DAS Tidak Ada Pencatatan (Ungaged).

Model Hidrologi menggunakan metode NRCS (Natural Resources Conservation Services, USA) sangat sesuai digunakan untuk kondisi tidak ada pencatatan, tetapi masih dapat mencerminkan kondisi hidrologi yang sebenarnya karena menggunakan peta digital seperti tata guna lahan, jenis tanah dan topografi. Masalah lain yang timbul jika metode ini digunakan adalah tidak tersedianya Hydrological Soil Group (HSG) untuk Indonesia, diperlukan semacam Hydropedology untuk mentransfer peta tanah yang tersedia menjadi HSG. Peta dan Tabel HSG untuk seluruh USA tersedia. Nilai CN diturunkan dari peta HSG dan peta Guna Lahan, jika kedua peta tersebut tersedia nilai CN dapat ditentukan dengan **Look Up Table**.

Debit Banjir Desain bendungan biasanya berupa hidrograf banjir dengan interval waktu paling tidak 1 jam atau kurang, diperkirakan dari data hujan jam-jaman yang mengalami kehilangan (losses) melalui resapan sehingga menghasilkan hujan efektif. Metode menghitung kehilangan akibat resapan dengan NRCS hanya dapat diterapkan pada satu set seri hujan yang berkesinambungan dan kurang dapat mengakomodir seri hujan yang terjadi lebih dari satu hari dengan waktu jeda dimana hujan berhenti dan kemudian terjadi hujan lagi. Selama waktu jeda tersebut biasanya resapan mengalami pemulihan sehingga pada saat hujan turun kembali potensi resapan menjadi lebih besar dan hujan efektif mengecil. Pada kenyataannya, Debit Banjir Desain untuk bendungan dihitung berdasarkan

hujan lebih dari satu hari seperti hujan 3 hari atau 5 hari untuk DAS besar yang mengandung waktu jeda hujan berhenti sampai berjam-jam.

Jadi, dapat disimpulkan ada tiga masalah yang dihadapi yaitu pertama hidrograf banjir pengamatan sering tidak tersedia, kedua tidak tersedianya peta HSG untuk Indonesia serta ketiga, perhitungan kehilangan hanya dapat diterapkan pada hujan durasi 24 jam.

TINJAUAN PUSTAKA

Hjelmfelt et al. (2001) mengadakan penelitian di wilayah Amerika pada lebih dari 100 buah DAS dan membuktikan bahwa hubungan hujan-limpasan dari metode CN- NRCS mendekati pengukuran lapangan.

Penerapan metode tersebut pada wilayah diluar Amerika seringkali menemui kesulitan dalam menentukan HSG karena memerlukan transfer peta tanah yang ada ke peta HSG. Transfer peta tanah ke peta HSG telah dilakukan di banyak Negara diluar USA, dan untuk beberapa wilayah sudah dibuat peta HSG (Ebrahimian,2012; Kabiri ,2013 dan Philips).

Salah satu parameter yang mempengaruhi Resapan Awal atau I_a adalah λ , diperkirakan sama dengan $0,2 S$ (Storage), dimana S fungsi dari Curve Number (CN). Nilai I_a pada jam-jam pertama besar dan secara eksponensial akan bergerak turun sampai mencapai garis asimptotis sampai curah hujan turun kembali laju resapan kembali meningkat seperti awal mula yaitu I_a . Metode ini hanya sesuai digunakan untuk satu kejadian badai yang berkesinambungan. Nilai λ baku yang diturunkan NRCS adalah $0,2$ (NEH,2004a).

Woodward dkk (2001) menggunakan 307 DAS yang tersebar di Amerika dan masing-masing mempunyai 20 kejadian lebih banjir yang memenuhi persyaratan untuk dihitung λ , dengan hasil sebagai berikut:

- 1 Setiap kejadian mempunyai nilai λ yang berbeda
- 2 Nilai $\lambda=0,2$ (NEH,2004a) menurut NRCS dianggap terlalu besar
- 3 Median dari λ mendekati $0,05$ atau yang paling sering terjadi adalah $\lambda=0,05$

Suprit dkk. (2012) mencoba mengkompilasi nilai λ yang pernah dibuat di berbagai seperti terlihat pada Tabel 1.

Kehilangan awal I_a sebenarnya tidak terlalu berperan dalam menentukan besaran debit puncak dan volume banjir dibandingkan nilai CN, seperti Suprit (2012) telah melakukan uji sensitivitas, dimana variasi terhadap λ lebih dari

100% sama dibandingkan variasinya terhadap CN yang hanya 10%.

METODOLOGI

Studi ini menggunakan perangkat lunak HEC-HMS 3.5 dengan masukan hasil pengolahan peta digital dengan grid $30m \times 30m$ yang ditangani oleh HEC GeoHMS dan terminal data disimpan dalam HEC DSS. Peta digital yang diperlukan meliputi peta hidrogeologi, tata guna lahan, DEM dan topografi, DEM dan topografi akan menghasilkan puluhan subDAS yang bekerja sebagai satuan hubungan hujan-limpasan dan dihubungkan satu sama lain dengan penelusuran banjir. Metode yang digunakan adalah kehilangan akibat resapan menggunakan NRCS, unit hidrograf juga menggunakan NRCS dan aliran dasar menggunakan metode rosotan atau constant selama satu bulan serta perhitungan penelusuran banjir menggunakan Muskingum Cunge.

1 Model Kehilangan NRCS (NEH, 2004c)

Model Curve Number dari Soil Conservation Services memperkirakan kelebihan hujan sebagai fungsi dari hujan kumulatif, jenis tanah penutup, tata guna lahan dan kelengasan tanah sebelumnya. Dalam metode ini, ketebalan limpasan atau hujan efektif merupakan fungsi dari ketebalan hujan total dan parameter cerminan dari bilangan kurva limpasan disebut Curve Number atau CN. Nilai CN berkisar antara 1 dan 100 fungsi dari limpasan yang dihasilkan dari ciri cekungan atau daerah tadah hujan seperti : 1) jenis tanah hidrologis (NEH, 2004a), 2) guna lahan (NEH, 2004b), 3) kondisi permukaan tanah dan 4) kondisi kelengasan tanah sebelumnya. Metode bilangan kurva limpasan tersebut dikembangkan untuk data hujan-limpasan 24 jam sehingga menimbulkan keterbatasan dalam memperhitungkan intensitas hujan dengan beragam kombinasi temporal.

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad 1)$$

yang mana P_e = kelebihan hujan kumulatif pada waktu t , P = ketebalan hujan kumulatif pada waktu t , I_a = abstraksi awal (kehilangan awal), dan S = potensi retensi maksimum, sebagai ukuran kemampuan DAS untuk meyerap dan mempertahankan hujan sampai hujan kumulatif melebihi abstraksi awal dan kelebihan hujan atau limpasan menjadi nol.

Tabel 1 Kompilasi Nilai λ dari Beberapa Penelitian

Range (Rata-rata)	Acuan	Wilayah	Keterangan
0-0,26	Springer et al. (1980)	USA	DAS kecil wilayah humid dan arid
0-0,3	Cazier and Hawkins (1984) and Boznay (1989)	USA	
0,05	Hawkins et al. (2001)	USA	Berguna untuk hujan kecil atau CN kecil
0,014-0,037	Baltas et al. (2007)	Yunani	Experimental Basin
0,01-0,154	Shi et al. (2009)	China	Tiga Wilayah Curam di China
0-1(0,06) 0-1 (0,06) 0-1 (0,17) 0-1 (0,37) 0-1 (0,2)	Mishra et al. (2005)	USA	DAS dibagi menjadi 5 kelompok P≤12,7 mm 12,7≤P≤25,4 mm 25,4≤P≤38,1 mm 38,1≤P≤50,8 mm P≥50,8 mm

Sumber : Suprit dkk, 2012

Pengertian kehilangan awal adalah bagian dari curah hujan yang digunakan untuk membasahi permukaan tanah termasuk tanaman, sampah dan tanah kosong sebelum resapan yang sebenarnya terjadi. Untuk permukaan kedap air atau berlapis semen, kehilangan awal merupakan jumlah yang dibutuhkan untuk membasahi permukaan sebelum air terakumulasi dan menjadi limpasan. Untuk penutup lahan hutan, kehilangan awal biasanya diambil 5,1 - 13 mm yang dibutuhkan untuk membasahi permukaan. Jumlah ini hamper tidak pernah diukur dan SCS menganggap bahwa kehilangan awal mendekati 0,2 kali tampungan kelengasan tanah maksimum atau S. Persamaan empiris dari Ia dan S dihubungkan secara linier oleh lambda, λ , yang sama dengan 0,2.

$$Ia = 0.2 S \quad 2)$$

Hujan lebih selama interval Δt dihitung sebagai selisih antara hujan lebih akumulatif di akhir dan awal periode. Retensi maksimum, S, dan karakteristik DAS dihubungkan dengan parameter antara yaitu Curve Number atau CN.

$$S = \frac{25400 - 254 CN}{CN} \quad 3)$$

Nilai CN bergerak antara 100 (tubuh air) dan 30 (tanah kedap air dengan laju infiltrasi tinggi).

Hydrologic Soil Group

Pengelompokan jenis tanah hidrologi dibuat berdasarkan peta tanah dengan sifat yang mirip seperti kedalaman lapisan atau kedalaman muka air tanah, laju transmisi air, tekstur dan struktur serta tingkat pengembangan bila kondisi jenuh tercapai sehingga menghasilkan limpasan yang hamper sama.

Jenis tanah hidrologi terbagi menjadi 4 kelompok mulai dari jenis tanah A (sangat berpotensi menyerap air), B (potensi menyerap air termasuk moderat), C (potensi menyerap air kurang) dan D (potensi menyerap air sangat kurang). Matriks sebagai dasar pemilihan jenis HSG. Matriks pada Tabel 2 dan Tabel 3 menggambarkan kriteria penentuan HSG.

Tabel 2 Kriteria Pengelompokan untuk Lapisan Kedap Air Pada Kedalaman Antara 60-100 cm (Sumber: NEH, 2004a)

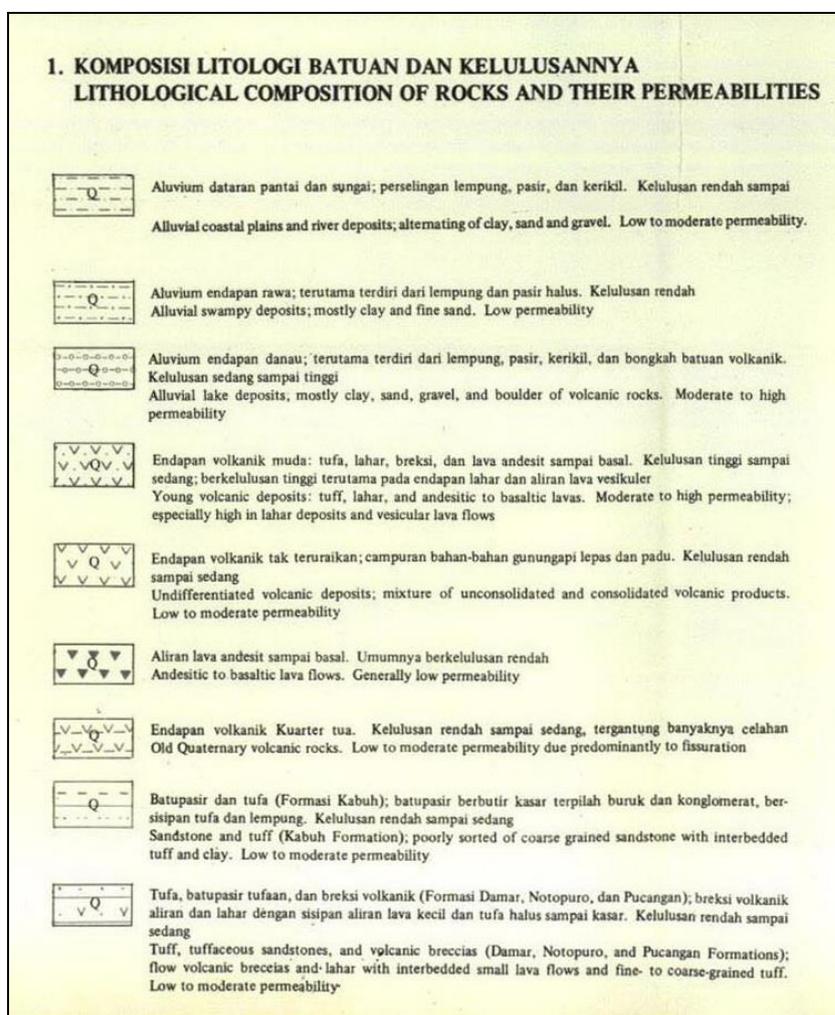
Sifat Tanah	HSG -A	HSG-B	HSG-c	HSG-D
Saturated hydraulic conductivity	>144,0 mm/j	≤144.0 sampai >36,1 mm/j	≤36,1 sampai >3,5 mm/j.	≤3,5 mm/j.
Kedalaman lapisan kedap air	50 sampai 100 cm	50 sampai 100 cm	50 sampai 100 cm	<50cm
dan	dan	dan	dan	dan
Kedalaman muka air tanah tinggi	60 sampai 100 cm	60 sampai 100 cm	60 sampai 100 cm	< 60 cm

Tabel 3 Kriteria Pengelompokan untuk Lapisan Kedap Air Pada Kedalaman Lebih dari 100 cm (Sumber : NEH, 2004a)

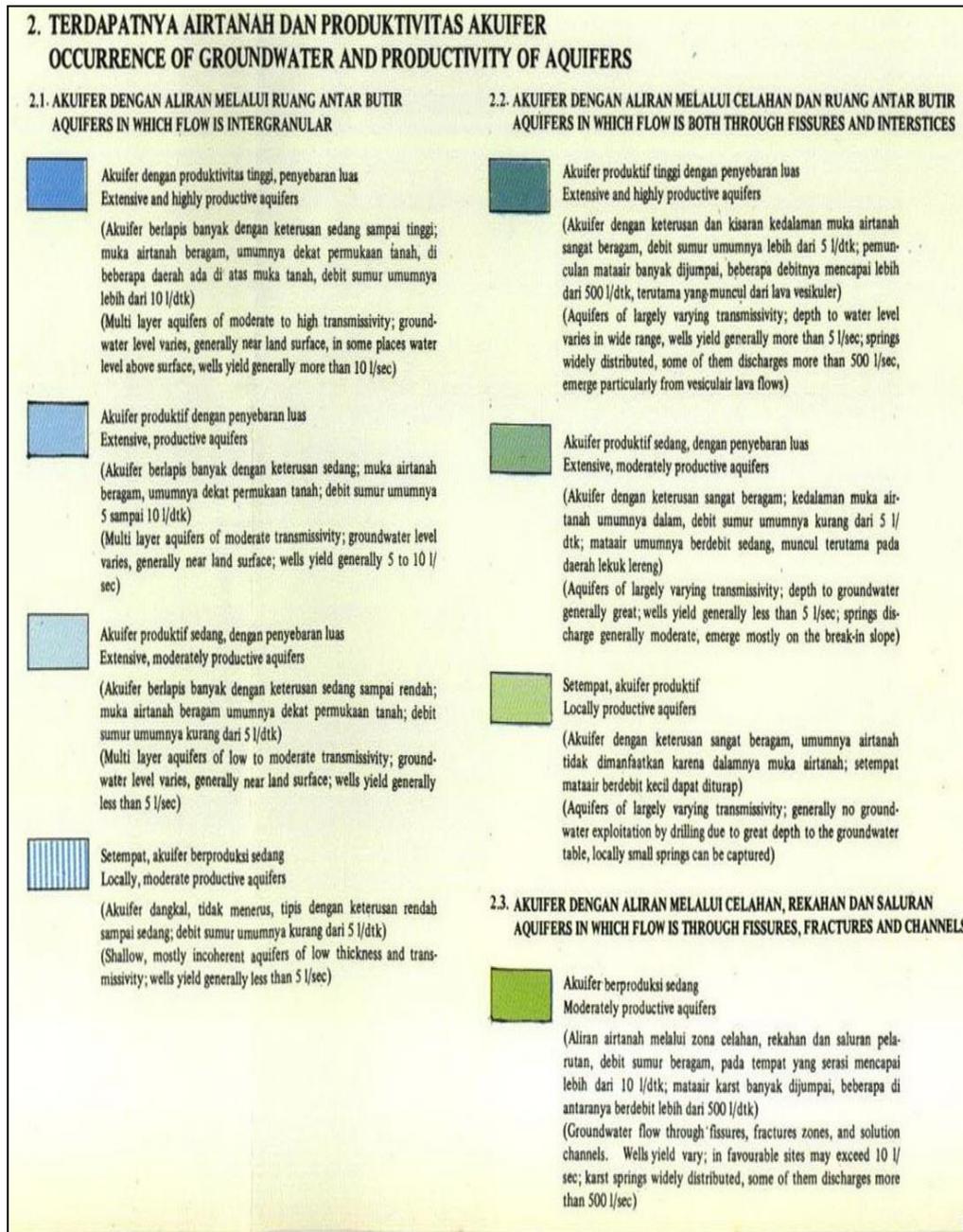
Sifat Tanah	HSG -A	HSG-B	HSG-c	HSG-D
Saturated hydraulic conductivity	>36,1 mm/j	≤36,1 sampai >14,5 mm/j	≤14,5 sampai >1,5 mm/j.	≤1,5 mm/j.
Kedalaman lapisan kedap air	>100 cm	> 100 cm	> 100 cm	> 100 cm
dan	dan	dan	dan	dan
Kedalaman muka air tanah tinggi	>100 cm	> 100 cm	> 100 cm	> 100 cm

Peta Hidrogeologi Indonesia yang diterbitkan oleh Pusat Lingkungan Geologi, Badan Geologi dengan skala 1:250.000, berisi informasi tentang permeabilitas tanah serta kedalaman air tanah. Komposisi litologi dan kelulusannya memberikan informasi kondisi permeability tanah secara kualitatif (Gambar 1) dan terdapatnya air tanah dan produktifitas akuifer memberikan gambaran akan kedalaman

akuifer secara umum (Gambar 2). Gambar 1 dan Gambar 2 diambil dari legenda Peta Hidrogeologi. *Hydraulic conductivity* merupakan ukuran dari kemudahan air bergerak melalui pori tanah tergantung dari permeabilitas (kelulusan) batuan. Jadi kedua parameter tersebut saling berhubungan ert dan berbanding lurus (makin besar *hydraulic conductivity* makin besar permeabilitanya).



Gambar 1 Informasi Tentang Kelulusan Tanah pada Peta Hidrogeologi (Diambil dari Legenda Peta Hidrogeologi)



Gambar 2 Informasi Tentang Kedalaman Akuifer pada Peta Hidrogeologi (Diambil dari Legenda Peta Hidrogeologi)

HASIL PEMBAHASAN

Kelima DAS terpilih dengan luas berragam dari 4,2 km² sampai dengan 1718 km² terdiri dari satu subDAS sampai 83 subDAS, tiga diantaranya lokasinya diwaduk dan dua yang lain lokasinya disungai. Teknik penentuan CN menjadi substansi utama studi ini yang membutuhkan pengujian melalui tahap kalibrasi, oleh karena itu hidrograf pengamatan menjadi penting.

Penentuan Kelompok Tanah

Peta Hidrogeologi dengan informasi lengkap mengenai parameter yang dibutuhkan

untuk penentuan HSG seperti permeabilitas tanah, posisi muka air tanah dari permukaan dapat dijadikan dasar penentuan HSG melalui transfer seperti terlihat pada Tabel 4 dan Tabel 5. Posisi muka air tanah diperkirakan dari Gambar 2 warna bukan biru muda serta permeabilitas ditentukan oleh penjelasannya litologi batuan seperti terlihat pada Gambar 1.

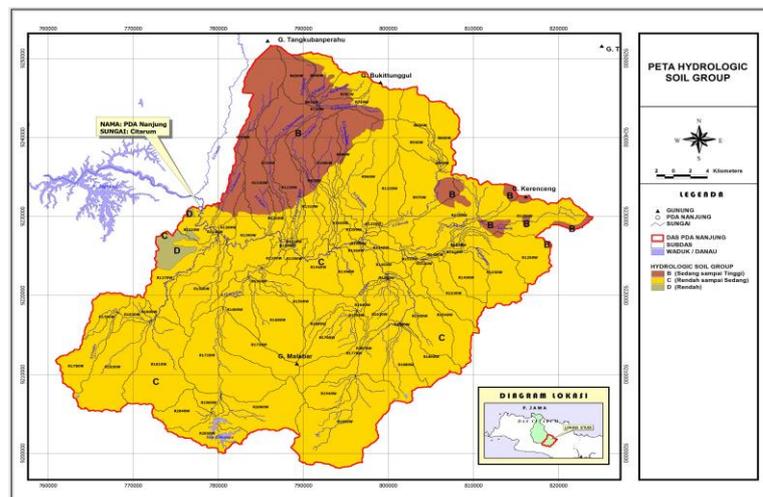
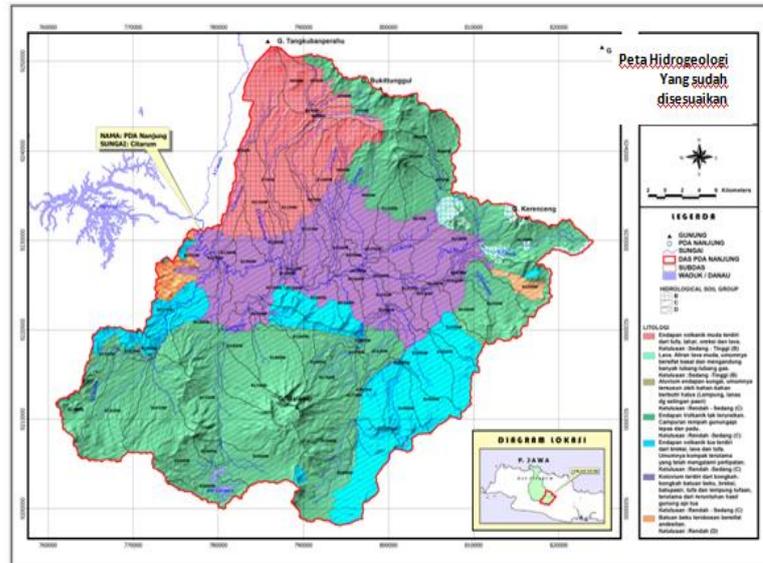
Contoh penerapan Tabel 4 dan Tabel 5 pada DAS Citarum-Nanjung (lihat Gambar 3) menghasilkan peta HSG dengan proses seperti terlihat pada Tabel 6.

Tabel 4 Pengalihan peta hidrogeologi ke HSG Untuk Muka Air Tanah Dalam (bukan warna biru muda), Lebih dari 100 cm.

permeabilitas				
sangat tinggi	tinggi	sedang	rendah	sangat rendah
A				
	B			
		C		
			D	

Tabel 5 Pengalihan peta hidrogeologi ke HSG Untuk Muka Air Tanah Dangkal (warna biru) , Kurang Dari 100 cm

permeabilitas				
sangat tinggi	tinggi	sedang	rendah	sangat rendah
A				
	B			
		C		
			D	



Gambar 3 Peta Hidrogeologi (kiri) dan Peta Hydrologic Soil Group (kanan) DAS Citarum-Nanjung

Tabel 6 Penentuan HSG ditinjau dari Kondisi Akuifer dan Litologi Batuan yang Menggambarkan Kedalaman Air Tanah dan Permeabilitas Tanah

No	Warna Legenda Akuifer	Litologi	Kelulusan	HSG
1	Biru	Endapan vulkanik muda terdiri dari tufa, lahar, oreksi dan lava.	Sedang sampai Tinggi	B
2	Biru	Kolovium terdiri dari bongkah-bongkah batuan beku, breksi, batupasir, tufa dan lempung tufaan, terutama dari reruntuhan hasil gunung api tua	Rendah sampai Sedang	C
3	Biru Bergaris	Aluvium endapan sungai, umumnya tersusun oleh bahan-bahan berbutir halus (Lempung, lanau dg selingan pasir)	Rendah sampai Sedang	C
4	Biru Tua	Endapan vulkanik muda terdiri dari tufa, lahar, oreksi dan lava.	Sedang sampai Tinggi	B
5	Coklat	Batuan beku terobosan bersifat andesitan.	Rendah	D
6	Coklat	Endapan vulkanik muda terdiri dari tufa, lahar, oreksi dan lava.	Sedang sampai Tinggi	B
7	Coklat	Endapan Vulkanik tak teruraikan. Campuran rempah gunungapi lepas dan padu	Rendah sampai Sedang	C
8	Coklat	Endapan vulkanik tua terdiri dari breksi, lava dan tufa. Umumnya kompak terutama yang telah mengalami perlipatan.	Rendah sampai Sedang	C
9	Coklat	Lava. Aliran lava muda, umumnya bersifat basal dan mengandung banyak lubang-lubang gas.	Sedang sampai Tinggi	B
10	Coklat Muda	Endapan Vulkanik tak teruraikan. Campuran rempah gunungapi lepas dan padu	Rendah sampai Sedang	C
11	Coklat Muda	Endapan vulkanik tua terdiri dari breksi, lava dan tufa. Umumnya kompak terutama yang telah mengalami perlipatan.	Rendah sampai Sedang	C
12	Hijau	Endapan vulkanik muda terdiri dari tufa, lahar, oreksi dan lava.	Sedang sampai Tinggi	B
13	Hijau	Endapan Vulkanik tak teruraikan. Campuran rempah gunungapi lepas dan padu	Rendah sampai Sedang	C
14	Hijau	Endapan vulkanik tua terdiri dari breksi, lava dan tufa. Umumnya kompak terutama yang telah mengalami perlipatan.	Rendah sampai Sedang	C
15	Hijau	Lava. Aliran lava muda, umumnya bersifat basal dan mengandung banyak lubang-lubang gas.	Sedang sampai Tinggi	B
16	Hijau Muda	Endapan vulkanik muda terdiri dari tufa, lahar, oreksi dan lava.	Sedang sampai Tinggi	B
17	Hijau Muda	Endapan Vulkanik tak teruraikan. Campuran rempah gunungapi lepas dan padu	Rendah sampai Sedang	C
18	Hijau Muda	Endapan vulkanik tua terdiri dari breksi, lava dan tufa. Umumnya kompak terutama yang telah mengalami perlipatan.	Rendah sampai Sedang	C
19	Hijau Muda	Lava. Aliran lava muda, umumnya bersifat basal dan mengandung banyak lubang-lubang gas.	Sedang sampai Tinggi	B
20	Hijau Tua	Endapan Vulkanik tak teruraikan. Campuran rempah gunungapi lepas dan padu	Rendah sampai Sedang	C
21	Hijau Tua	Endapan vulkanik tua terdiri dari breksi, lava dan tufa. Umumnya kompak terutama yang telah mengalami perlipatan.	Rendah sampai Sedang	C

2 Penentuan Kehilangan Awal

Curah hujan yang digunakan dalam studi ini kebanyakan lebih dari 24 jam sehingga perhitungan kehilangan akibat resapan harus dikerjakan diluar HEC-HMS dengan kerangka pikir seperti terlihat pada Gambar 4.

3 Hasil Kalibrasi

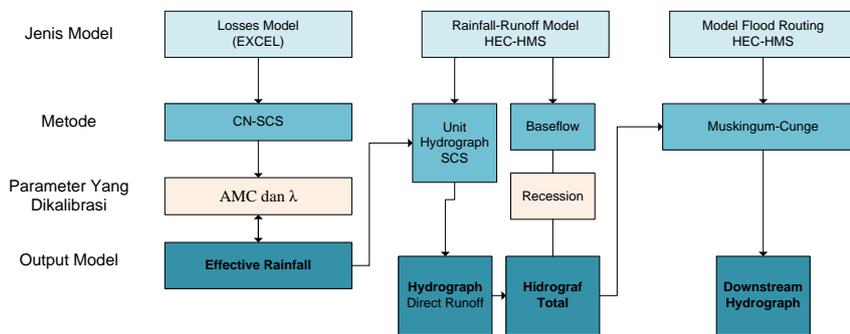
Kalibrasi merupakan proses merubah parameter seperti λ sampai diperoleh hasil yang optimum yaitu hidrograf hasil simulasi mendekati

pengamatan. Dalam proses tersebut nilai CN tidak dirubah sesuai dengan yang diperoleh dari proses sebelumnya, AMC atau Antecedent Moisture Condition umumnya menggunakan kondisi normal serta kedua parameter ,AMC dan λ , tidak banyak berpengaruh dibandingkan CN dalam menunjang besaran banjir. Dengan demikian sebenarnya proses kalibrasi merupakan suatu bentuk pengujian apakah CN yang digunakan sudah cukup memadai untuk mewakili kondisi fisik yang sebenarnya.

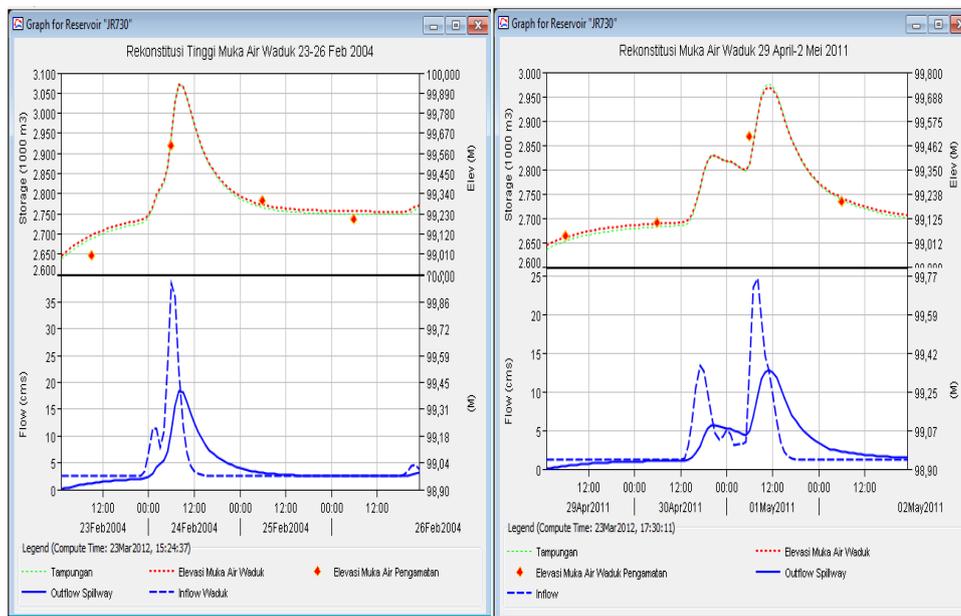
Gambar 4, menjelaskan bahwa parameter yang dirubah adalah λ dan AMC serta Metode Recession atau Constant Monthly, sedangkan transformasinya menggunakan Dimensionless Unit Hydrograph yang sudah baku dari NRCS merupakan fungsi dari CN. Unit Hidrograf NRCS dirumuskan secara empiris dan merupakan fungsi dari panjang alur dan kemiringan DAS, yang ditentukan menggunakan ARC View dan HEC GeoHMS sehingga dalam hal ini tidak ada parameter UH yang perlu dikalibrasi. Penelusuran banjir Muskingum-Cunge memerlukan data kemiringan (dibaca oleh Arc View), Manning n dan lebar sungai (diperkirakan dari Arc View), sehingga tidak ada parameter yang perlu dikalibrasi.

Secara grafis, hasil kalibrasi dari kelima DAS terpilih dapat dilihat pada Gambar 5 sampai dengan Gambar 10, yang dapat diringkas sebagai berikut:

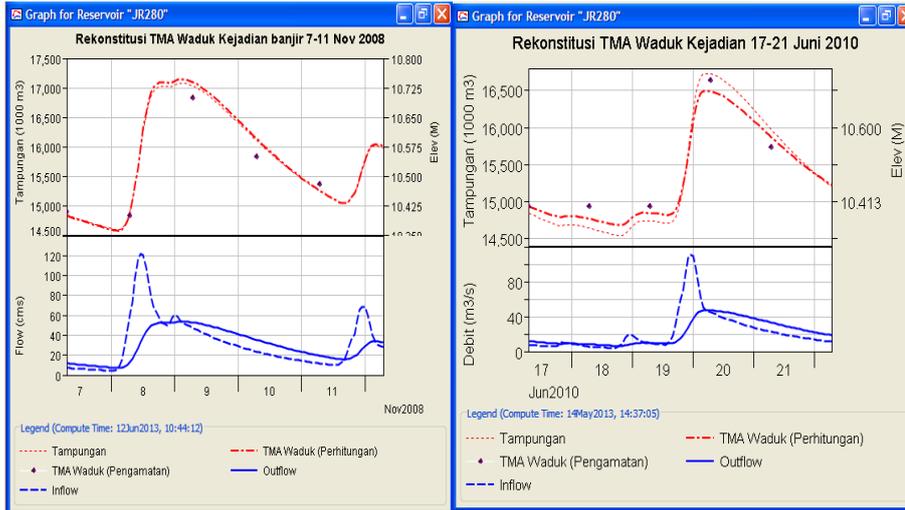
- Semua kejadian banjir terpilih sebanyak 10 kejadian, menghasilkan parameter yang sama yaitu AMC II, λ antara 0,01 sampai dengan 0,3 dengan median di 0,01.
- Metode perhitungan aliran dasar adalah Recession (untuk 4 DAS) dan Constant Monthly (Citarum Hulu) disesuaikan dengan kondisi DAS
- Proses penentuan CN yang sama
- Banjir besar yang dipilih, umumnya lebih dari satu hari (lihat Gambar 5 dan Gambar 6) bahkan selama 3 bulan (lihat Gambar 9 dan Gambar 10) untuk Citarum Hulu meskipun dalam interval harian. Dengan demikian, perhitungan hujan efektif perlu dilakukan diluar perangkat HEC HMS, mengingat keterbatasan CN hanya menangani banjir satu hari saja. Apalagi, desain banjir untuk bendungan biasanya menggunakan menggunakan kejadian banjir 3 hari atau 5 hari.



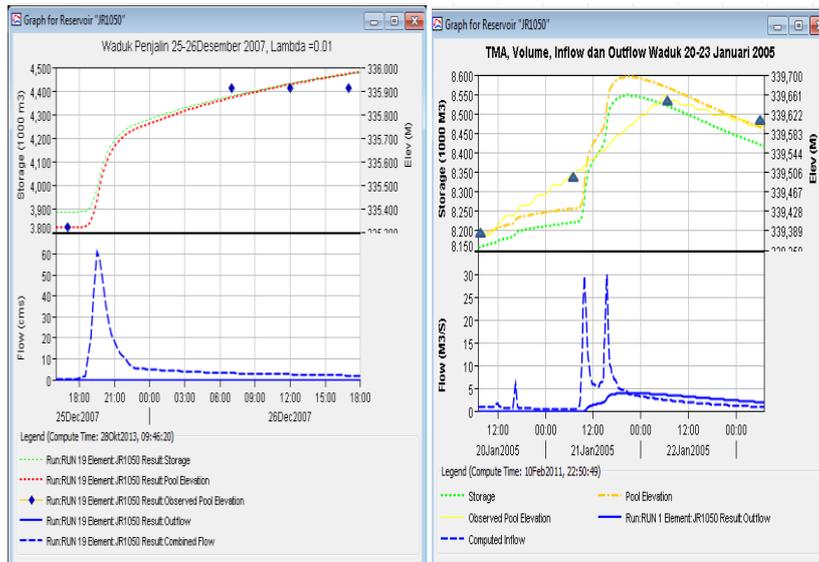
Gambar 4 Kerangka Pikir Pemodelan Banjir (dalam kotak berwarna merah muda adalah parameter yang dikalibrasi)



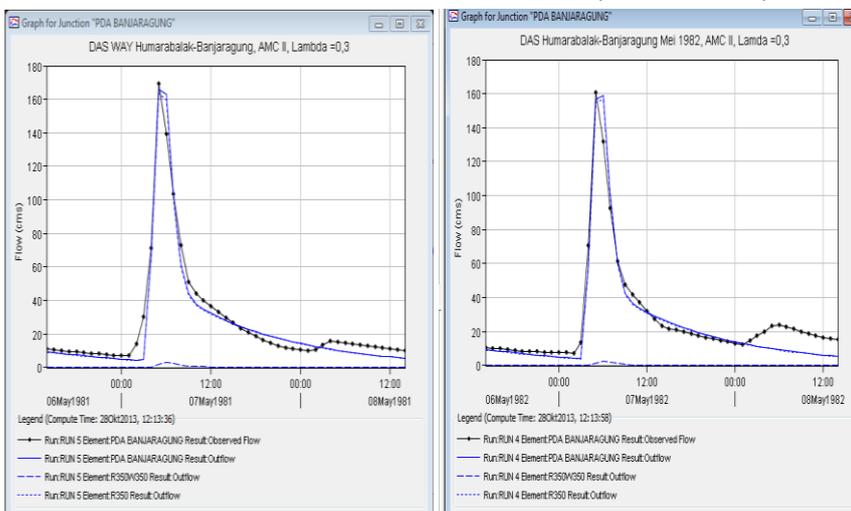
Gambar 5 Rekonstitusi Muka Air di Waduk Ketro 23-26 Februari 2004 (AMC II, $\lambda=0,01$) dan 29 April-2 Mei 2011 (AMC II, $\lambda=0,01$)



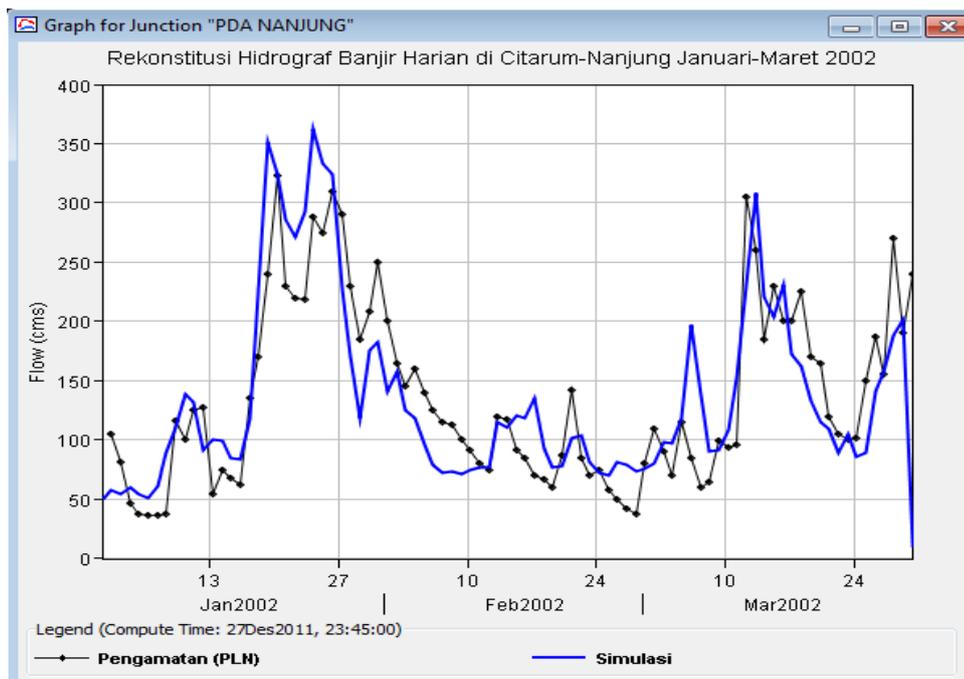
Gambar 6 Hasil Rekonstitusi TMA Waduk Manggar Kejadian Banir 7-11 November 2008 dan 17-21 Juni 2010 (keduanya AMC II, $\lambda=0,01$)



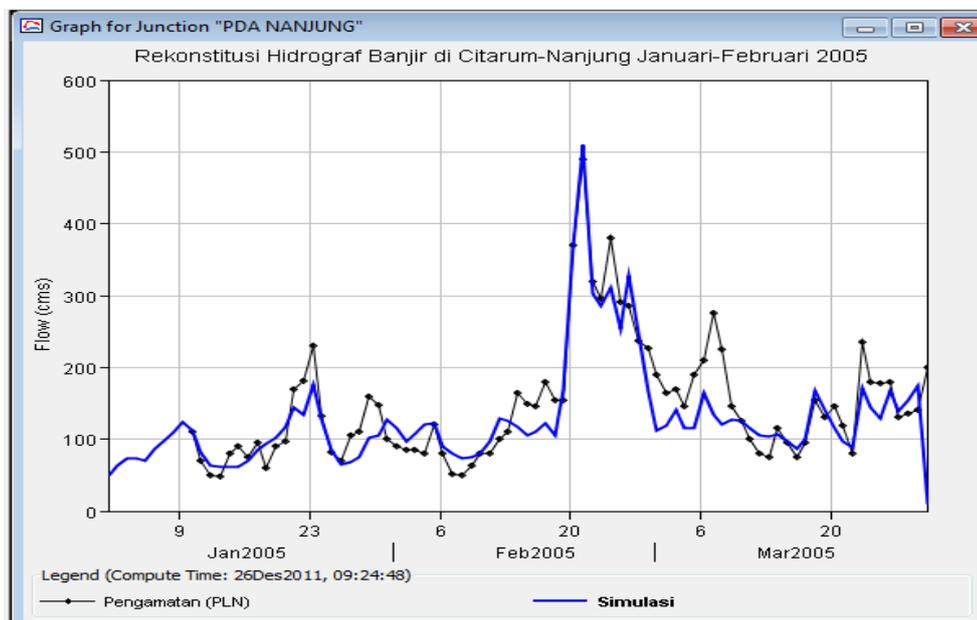
Gambar 7 Hasil Rekonstitusi TMA Waduk Penjalin Kejadian Banir 25-26 Desember 2007 dan 20-23 Januari 2005 (AMC II, $\lambda=0,01$)



Gambar 8 Rekonstitusi Hidrograf Banjir Way Humarabalak-Banjaragung Mei 1981 (AMC II, $\lambda=0,2$) dan Mei 1982 ((AMC II, $\lambda=0,3$)



Gambar 9 Rekonstitusi Hidrograf Banjir Januari-Maret 2002 Citarum-Nanjung (tahap Kalibrasi), menggunakan AMC II, $\lambda=0,2$



Gambar 10 Rekonstitusi Hidrograf Banjir Januari-Maret 2005 Citarum-Nanjung (tahap Verifikasi) menggunakan AMC II, $\lambda=0,2$

KESIMPULAN

Studi Banjir Desain untuk Bendungan menghasikan suatu kombinasi metode yang direkomendasikan untuk digunakan, karena hal-hal sebagai berikut :

Model Hubungan Hujan-Limpasan lebih handal dibandingkan dengan pendekatan empiris seperti Weduwen, Haspers maupun Nakayasu,

karena bukan murni black box, bukan murni lumped tetapi semi distributed.

Model yang digunakan, HEC-HMS dan pelengkapny, mudah diakses. Kombinasi metode yang digunakan adalah : Kehilangan atau Resapan menggunakan metode Kehilangan NRCS, Transformasi hujan menjadi limpasan menggunakan metode Unit Hidrograf NRCS juga,

Aliran Dasar menggunakan metode Recession dan Penelusuran Banjir Menggunakan Metode Muskingum-Cunge.

Peta hidrometeorologi dapat digunakan sebagai dasar transformasi ke peta HSG (Hydrologic Soil Group), hal ini dibuktikan melalui hasil kalibrasi dari lima DAS di Jawa, Sumatera dan Kalimantan dari luas DAS kecil (4 km²) sampai luas DAS besar (1718km²).

Model perhitungan hujan efektif harus dihitung diluar perangkat lunak HEC HMS, agar dapat diterapkan untuk durasi hujan lebih dari 24 jam.

Hasil analisa kalibrasi memperlihatkan bahwa setelah melalui tahap kalibrasi yang diterapkan pada 5 buah DAS terlihat bahwa teknologi tersebut dapat diterapkan pada lokasi lain yang tidak mempunyai data pengamatan pos duga air.

DAFTAR PUSTAKA

- Crochemore, Louise 2011, *Evaluation of Hydrological Models : Expert Judgement vs Numerical Criteria* , Polytech Paris UPMC.
- Ebrahimian, M., A.Ainuddin Nuruddin, M.A.B. Mohd Soom, A.M. Sood, 2012, Application of NRCS-Curve Number Method for Runoff Estimation in A Mountainous Watershed, *Caspian Journal of Environment Sciences*, 2012, Vol. 10 No.1 pp 103-114.
- Hjelmfelt, A.T., D.A. Woodward, G. Conaway, Q.D. Quan, J. Van Mullem, and R.H. Hawkins. 2001. *Curve Numbers, Recent Developments*, XXIX IAHR Congress Proceedings, Beijing, China
- Interagency Committee on Dam Safety, 2004, *Federal Guidelines for Dam Safety : Selecting and Accommodating Inflow Design Floods For Dams*, US Department of Homeland Security Federal Emergency Management.
- Kabiri, Reza, Andrew Chan, Ramani Bai, 2013, *Comparison of SCS and Green and Ampt Methods in Surface Runoff-Flooding Simulation for Klang Watershed in Malaysia*, *Open journal of Modern Hydrology*, 2013,3,102-114
- NEH (National Engineering Handbook), 2004a, *Chapter 7: Hydrologic Soil Groups, Part 630 Hydrology National Engineering Handbook*, USDA, Washington DC
- NEH (National Engineering Handbook), 2004b, *Chapter 9: Hydrologic Soil Cover Complexes, Part 630 Hydrology National Engineering Handbook*, USDA, Washington DC
- NEH (National Engineering Handbook), 2004c, *Chapter 10: Estimation of Direct Runoff from Storm Rainfall, Part 630 Hydrology National Engineering Handbook*, USDA, Washington DC
- Philips, Jillian and Lorraine Joubert, 2010, *Mapping Hydrologic Soil Groups in The Field*, University of Rhode Island.
- SNI 03-3432-1994, 1994, *Tata Cara Desain dan Kapasitas Pelimpah untuk Bendung*.
- Suprit, K., D. Shankar, V. Venugopal and N. V. Bhatkar, 2012, *Simulating the Daily Discharge of the Mandovi River*, *West Coast of India, Hydrol. Sci. J.*, vol 57(4): 2012: 684-704.
- Woodward, Donald E., Richard H. Hawkins, Ruiyun Jiang, Allen T. Hjelmfelt, Jr., Joseph A. Van Mullen, Quan D. Quan, 2001, *Runoff Curve Number Method: Examination of The Initial Abstraction Ratio*, *USDA, Natural Resources Conservation Services*, Tucson AZ.