

PENGEMBANGAN MODEL BANJIR JAKARTA

DEVELOPMENT ON JAKARTA FLOOD MODELLING SYSTEM

William M. Putuhena¹⁾, Segel Ginting²⁾

^{1,2)}Peneliti Teknik Hidrologi, Pusat Litbang Sumber Daya Air
Jl Ir. H. Juanda No. 193, Bandung
e-mail: william_putuhena@yahoo.com

Diterima: 18 September 2013; Disetujui: 2 November 2013

ABSTRAK

Untuk mempelajari karakteristik banjir dan mengevaluasi efektivitas alternatif pengendali banjir Jakarta, dikembangkan model yang terintegrasi antara model hidrologi dan model hidraulik. Pengembangan model banjir ini menggunakan perangkat lunak SOBEK yang didasarkan pada model hidrologi hujan-limpasan dengan menggunakan konsep Sacramento dan model hidraulik satu dimensi (1D) untuk perhitungan perambatan aliran di sungai dan model hidraulik dua dimensi (2D) untuk perhitungan perambatan aliran banjir di daerah genangan. Model hidrologi bertujuan melakukan perubahan hujan menjadi limpasan pada masing-masing sub DAS, dimana Jakarta beserta DAS nya dengan luas total 1.500 km² telah dibagi menjadi 449 sub DAS. Model Hidraulik 1D digunakan untuk rambatan aliran di sistem drainase makro Jakarta yang terdiri dari 13 sungai dan 4 kanal serta infrastrukturnya. Model Hidraulik 2D digunakan untuk perhitungan apabila aliran sungai melewati kapasitas yang ada sehingga mengalami rambatan air di daerah genangan. Model banjir yang telah dibangun selanjutnya dikalibrasi dengan menggunakan data kejadian banjir pada tahun 2007 dan divalidasi dengan data kejadian banjir tahun 2008. Hasil kalibrasi dan validasi menunjukkan bahwa model banjir yang dikembangkan cukup baik untuk merespon perilaku banjir Jakarta. Pada akhirnya, model ini dapat digunakan sebagai framework model banjir Jakarta untuk mencari efektivitas berbagai alternatif pengendalian banjir dan sarana utama sistem peringatan dini banjir Jakarta.

Kata kunci: model banjir, model hidrodinamik, model hidrologi dan hidraulik, model Sacramento, model 1D dan 2D

ABSTRACT

In order to study the flood characteristics and to evaluate the effectiveness of the Jakarta flood control alternatives, a model of flooding was developed combining hydrological and hydraulic models. The flood model development had used the SOBEK software based on the rainfall-runoff hydrological model according to the Sacramento concept and the 1D hydraulic model for the calculation of flow routing in the river and 2D hydraulic model for the calculation of flow routing in the inundated area (overland flow). The hydrological model aims to change rainfall into runoff in each sub-catchment, where Jakarta with a catchment of 1.500 km² has been divided into 449 sub-catchments. The 1D hydraulic model was applied for the flow routing in the macro drainage system of Jakarta comprising 13 rivers and 4 canals and its infrastructure. Whereas, the 2D hydraulic model was used for computation when flow exceeds the existing capacity sustaining a creep in the inundated area. The developed flood models were calibrated using the flood data of 2007, and validated using the flood data of 2008. Calibration and validation results show that the model is quite adequate to response to the flood behavior in Jakarta. Finally, the developed model shall be used as a Jakarta flood model framework to find out the effectiveness of flood control alternatives and as a main tool of Jakarta flood warning sistem.

Keywords: flood modeling, hydrodynamic model, hydrological and hydraulic models, Sacramento model, 1D and 2D modeling

PENDAHULUAN

Jakarta sebagai ibukota negara Indonesia memiliki beban yang berat untuk menopang kehidupan masyarakat setempat. Jakarta dengan daya tariknya, menyebabkan laju urbanisasi yang

meningkat sehingga pertumbuhan penduduk di Jakarta dan kota sekitarnya semakin padat. Peningkatan jumlah penduduk mengakibatkan terjadi perubahan tutupan lahan yang sebelumnya lahan budi daya menjadi lahan terbangun.

Aplikasi model SOBEK awalnya menggunakan metode *Soil Conservative Service* (SCS) dalam memperkirakan debit puncak banjir (Verschelling, E., and Udo, J., 2007). Perbaikan atau revisi terhadap model banjir terus berlanjut hingga pada *Flood Hazard Mapping* tahap 2. Pada periode ini metode Sacramento digunakan untuk memperkirakan debit puncak banjir dan perbaikan terhadap kalibrasi model yang dilakukan sebelumnya (Ogink, *et.al.*, 2009). Model banjir berdasarkan hasil pekerjaan *Flood Hazard Mapping* Tahap 2 merupakan embrio untuk pengembangan model selanjutnya yang tergabung dalam *Joint Corporation Program* (JCP) antara pemerintahan Indonesia dengan Belanda. Pada periode JCP, model banjir ini terus diperbaharui seperti: dimensi sungai (penampang memanjang dan melintang sungai/kanal) dan penambahan sistem banjir kanal timur (BKT) serta berbagai bangunan keairan yang ada seperti pompa dan pintu air, yang belum diikutsertakan pada model banjir sebelumnya.

TINJAUAN PUSTAKA

Pemanfaatan model matematis dalam menyelesaikan suatu permasalahan yang berhubungan dengan sumber daya air telah berkembang begitu pesat. Mulai dari metode rasional sampai dengan metode yang kompleks seperti *distributed hydrological model* saat ini telah banyak diaplikasikan (Todini, 2007). Berkembangnya *distributed hydrological model* memberikan tantangan baru untuk diaplikasikan pada permasalahan banjir di suatu daerah aliran sungai (DAS). Beberapa aplikasi yang telah dilakukan untuk memodelkan banjir dengan menggunakan *input* data hujan, baik data pengamatan, data radar maupun data *numerical weather prediction* (NWP), telah dilakukan di DAS Ammer (Ludwig, 2003). Dalam studi ini dilaporkan bahwa data *input* parameter berupa data hujan merupakan hal yang sangat penting untuk mendapatkan hasil yang akurat.

Pendekatan *distributed hydrological model* untuk melihat karakteristik banjir, banyak dilakukan mengingat ketersediaan data yang diperlukan untuk melakukan hal tersebut dari hari ke hari semakin mudah didapatkan dan informasinya juga semakin detail.

Muzik (1996) melakukan pendekatan berdasarkan konsep hidrograf satuan spasial yang terdistribusi didasarkan pada kondisi nyata hidrograf satuan yang dihasilkan dari suatu DAS dengan menggunakan metode *time-area diagram*. Untuk menentukan *time-area diagram* dapat dilakukan dengan menggunakan *geographic information system* (GIS). GIS digunakan untuk

menggambarkan hubungan dalam jaringan aliran DAS dan menghitung jarak dan waktu perjalanan ke *outlet* DAS untuk berbagai titik pada DAS tersebut. Hidrograf satuan yang dihasilkan memberikan hasil yang sangat baik dalam mensimulasikan sebuah hidrograf banjir yang diamati.

Tren masa depan menunjukkan bahwa dengan menggunakan GIS untuk diintegrasikan dengan pemodelan hidrologi DAS, dapat menyediakan *platform* yang fleksibel untuk mendukung pengembangan sistem pemodelan hidrologi DAS, pengumpulan data *real-time* dan penyebaran aplikasi berbasis pemodelan hidrologi DAS di web. Perangkat lunak GIS *open-source* tampaknya akan menjadi terdepan untuk menunjang pemodelan hidrologi DAS sebagai alternatif yang memerlukan biaya lebih efektif dibandingkan dengan GIS komersial. (Daniel, *et.al.*, 2010.)

Pendekatan lain yang dilakukan dalam simulasi banjir adalah perambatan aliran banjir dengan menggunakan pendekatan numerik berdasarkan persamaan St Venant, baik 1D maupun 2D untuk aliran *unsteady* (Stelling dan Verwey, 2005). Pemodelan perambatan aliran banjir dilakukan berdasarkan penyelesaian numerik dari persamaan St. Venant dengan menggunakan perhitungan 1D untuk sepanjang sungai dan perhitungan 2D jika terjadi genangan di permukaan lahan. Proses perhitungan yang terjadi antara sungai dengan lahan dilakukan dengan pendekatan interkoneksi 1D dan 2D.

Namun, model tersebut memerlukan persyaratan data dan perangkat komputer untuk mengolah data dengan spesifikasi yang cukup tinggi. Huang, *et.al.*, 2007 melakukan studi di Sungai Elbe, Jerman untuk menunjukkan kemampuan pendekatan model kuasi-2D dalam menilai perilaku air yang terjadi akibat tanggul jebol yang disebabkan oleh banjir. Pemodelan tersebut juga melakukan pendekatan analisis Monte-Carlo untuk analisis sensitivitas dalam menentukan sensitivitas parameter dan kondisi batas pada aliran air yang dihasilkan.

Salah satu metode baru yang juga sedang dikembangkan adalah perhitungan penelusuran banjir dengan menggunakan model hidrodinamik HEC-RAS yang dikombinasikan dengan menggunakan Model *Artificial Neural Network* (ANN). Langkah ini dilakukan karena model yang digunakan tersebut dipergunakan untuk pemodelan banjir secara tepat waktu, sehingga apabila menggunakan model hidrodinamik, maka memerlukan waktu untuk melakukan simulasi sehingga tidak akan mendapatkan model secara tepat waktu. Agar hal tersebut bukan menjadi

kendala, maka dilakukan pengembangan metode baru dengan memanfaatkan model ANN. Hasil dari model hidrodinamik digunakan sebagai *input* untuk model ANN. Dengan model ANN yang telah terbentuk, maka dengan cepat dapat melakukan simulasi sehingga dapat menghasilkan keluaran secara tepat waktu (Peters, R., Schmitz, G. and Cullmann, J., 2006).

METODOLOGI

Model simulasi terkait sumber daya air umumnya masih dilakukan secara parsial dengan hanya menggunakan pendekatan hidrologi atau hidraulik saja. Padahal suatu objek yang menjadi suatu permasalahan kadang sangat dipengaruhi oleh sekitarnya sehingga tidak dapat terlepas dengan wilayah lainnya. Sebagai contoh, permasalahan banjir di suatu daerah sangat terkait dengan ruang dan waktu sehingga harus melibatkan pendekatan hidrologi dan hidraulik secara bersamaan atau simultan. Konsep pemodelan simulasi yang dilakukan di daerah Jakarta menggunakan pemodelan matematis yang dapat menggambarkan profil aliran di sungai atau saluran mulai dari perhitungan hidrologi, perhitungan hidraulik dan perhitungan daerah genangan. Pemodelan ini meliputi pemodelan hidrologi daerah aliran sungai dan pemodelan rambatan banjir di sungai dan di daerah genangan.

Pemodelan banjir di Jakarta terdiri dari tiga konsep seperti yang terlihat pada Gambar 2. Konsep tersebut dapat dijelaskan berikut ini.

1 The hydrological rainfall runoff module (RR) yang digunakan untuk mentransformasi hujan menjadi limpasan pada setiap subdas disertai rambatan aliran menuju sungai dengan metode Muskinggum. Untuk selanjutnya digunakan sebagai masukan untuk perhitungan aliran Model Hidraulik 1D.

2 The one-dimensional hydraulic module (1D) yang digunakan untuk menghitung aliran 1D melalui sungai utama dan saluran makro.

3 The two-dimensional hydraulic module (2D) yang digunakan untuk menghitung daerah genangan banjir pada saat terjadinya *overtopping*.

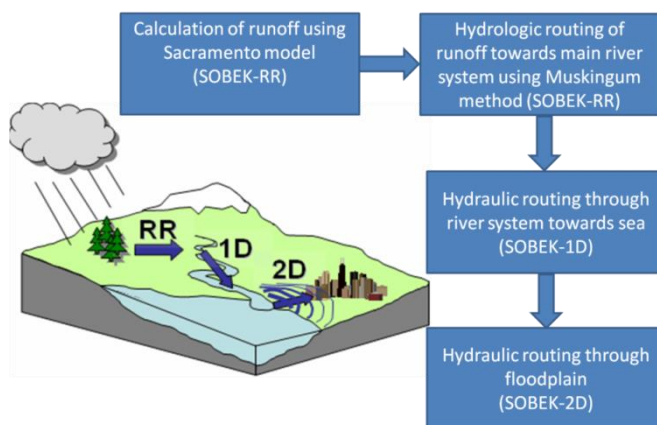
Agar memudahkan dalam perhitungan untuk ketiga konsep tersebut, maka digunakan program SOBEK. Program SOBEK merupakan salah satu paket program yang dikembangkan oleh Deltares, Belanda. Program SOBEK dapat digunakan untuk melakukan perhitungan hidrodinamika sungai termasuk transformasi hujan menjadi aliran pada suatu lahan. Konsep teoritis yang digunakan oleh SOBEK untuk melakukan perhitungan terhadap tiga pendekatan yang digunakan untuk memodelkan banjir di daerah Jakarta dijelaskan berikut ini.

Pemodelan hidrologi daerah aliran sungai

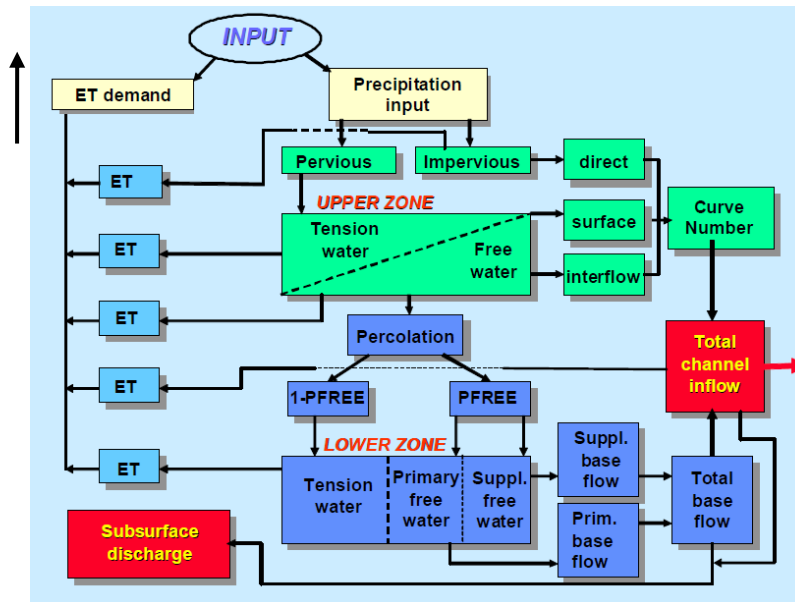
Pemodelan hidrologi daerah aliran sungai dimaksudkan untuk melakukan transformasi data hujan menjadi limpasan. Konsep pemodelan yang digunakan menggunakan Sacramento seperti terlihat pada Gambar 3. Model Sacramento tersebut merupakan model *lumped* dengan proses perubahan hujan menjadi limpasan berdasarkan konseptual dengan algoritma persamaan secara empiris.

Pemodelan hidraulik sungai 1D

Persamaan yang digunakan untuk melakukan perhitungan muka air di sungai didekati dengan persamaan Saint Venant. Untuk pemodelan 1D menggunakan persamaan kontinuitas dan persamaan momentum.



Gambar 2 Metodologi pengembangan model banjir Jakarta



Gambar 3 Konsep model Sacramento

Persamaan kontinuitas adalah sebagai berikut:

$$\frac{\partial A_f}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q_{lat} \quad 1)$$

Keterangan:

- A_f , Luas penampang basah (m²)
- q_{lat} , Debit lateral per satuan lebar
- t , Waktu (s)
- x , Jarak (m)
- Q , Debit (m³/s)

Persamaan lainnya yang digunakan dalam pemodelan 1D adalah persamaan momentum seperti berikut ini:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A_f} \right) + gA_f \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQ|Q|}{C^2RA_f} - W_f \frac{\tau_{wi}}{\rho_{wi}} = 0 \quad 2)$$

Keterangan:

- R , Jari-jari hidraulik (m)
- C , Koefisien Chezy
- W_f , Lebar aliran (m)
- τ_{wi} , Tekanan geser angin (N/m²)
- ρ_{wi} , Berat jenis air (kg/m³)

Pemodelan hidraulik 2D

Perhitungan aliran 2D akan menggunakan tiga persamaan yaitu persamaan kontinuitas 2D, persamaan momentum 2D arah sumbu-x, dan persamaan momentum 2D arah sumbu-y.

Persamaan kontinuitas 2D

Persamaan kontinuitas 2D adalah sebagai berikut:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial (uh)}{\partial x} + \frac{\partial (vh)}{\partial y} = 0$$

Keterangan:

- u , kecepatan arah sumbu -x
- v , kecepatan arah sumbu -y
- V , kecepatan $V = \sqrt{v^2 + u^2}$
- ζ , muka air diatas referensi
- h , kedalaman muka air $\zeta + d$
- d , kedalaman dibawah referensi (m)

Persamaan momentum aliran 2D arah sumbu-x

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + g \frac{u|V|}{C^2h} + au|u| = 0$$

Keterangan:

- C , koefisien Chezy
- a , koefisien kekasaran dinding

Persamaan momentum aliran 2D arah sumbu-y

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + g \frac{v|V|}{C^2h} + av|v| = 0$$

Interkoneksi antara 1D-2D

Jaringan 1D umumnya terjadi di sungai dan *grid* 2D terdapat di lahan (daerah genangan). Untuk menghubungkan antara 1D dengan *grid* 2D dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut:

- 1 hubungan antara node 1D (*cross section*) dengan *grid* 2D.
- 2 hubungan antara titik-titik perhitungan (*calculation points*) 1D dan *grid* 2D.

Aturan berikut harus diperhatikan, bahwa hanya satu koneksi dari setiap *grid* sel diperbolehkan. Dengan kata lain, tidak dapat memiliki dua simpul dalam satu sel *grid* yaitu simpul penghubung dan simpul titik perhitungan, atau lebih dari satu koneksi simpul atau titik perhitungan per sel *grid*. Hal ini dengan mudah diasumsikan bahwa jaringan 1D dan 2D adalah dua

layar peta independen yang dapat saling tumpang tindih (*overlapping*). Penentuan kode perhitungan titik-titik penghubung antara 1D dengan 2D didasarkan pada koordinat dari posisi di tengah-tengah *grid* 2D dan koordinat dari simpul penghubung atau titik-titik perhitungan ditentukan pada titik sambungan antara 1D dan 2D pada peta koordinat untuk pusat sel *grid* 2D dan koneksi *node*/perhitungan 1D. Jika *node* tersebut berada dalam kriteria tertentu, maka sambungan (*connection*) dibuat diantaranya. Kriteria tersebut, jika dinyatakan dalam istilah matematika, adalah sebagai berikut:

Jika ($|X1-X2| \leq DX/2$) dan ($|Y1-Y2| \leq DY/2$), maka titik 1D tersebut diasumsikan berada di dalam *grid* 2D, dimana:

X1 , x koordinat peta untuk titik 1D

X2 , x koordinat peta untuk *grid* 2D

Y1 , y koordinat peta untuk titik 1D

Y2 , y koordinat peta untuk *grid* 2D

DX ,lebar *grid* arah -x

DY,lebar *grid* arah -y (DX dan DY adalah sama)

Hubungan antara *grid* sel jaringan 2D dan 1D dilakukan dengan cara sebagai berikut (Gambar 4):

- 1 pusat *node* 1D secara internal dipindahkan ke pusat sel *grid* 2D, tanpa mengubah panjang penghubung 1D.
- 2 *grid* 2D dihitung sebagai bagian dari *node* 1D.
- 3 jika level aliran dalam saluran 1D di bawah dari *grid* 2D, maka diperlakukan sebagai aliran 1D, sedangkan jika level aliran 1D di atas *grid* 2D, maka diperlakukan sebagai aliran 2D dengan luas sebesar ukuran sel *grid* 2D.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengembangan model hujan-limpasan

Jakarta merupakan Ibukota Indonesia yang dilalui oleh 13 sungai. Daerah Aliran Sungai (DAS) yang masuk Jakarta, sumber utama berasal dari Bogor. Sungai yang masuk Jakarta tersebut adalah Sungai Ciliwung, Sungai Cipinang, Sunter, Jatikramat, Cakung, Pesanggrahan, Kali Baru Timur, Kali Baru Barat, Kali Angke, Kali Krukut, Kali Mokervaat, Kali Grogol, dan Kali Buaran.

Pemodelan banjir Jakarta diawali dengan melakukan proses perubahan hujan menjadi limpasan dari seluruh DAS yang menjadi suplai ke

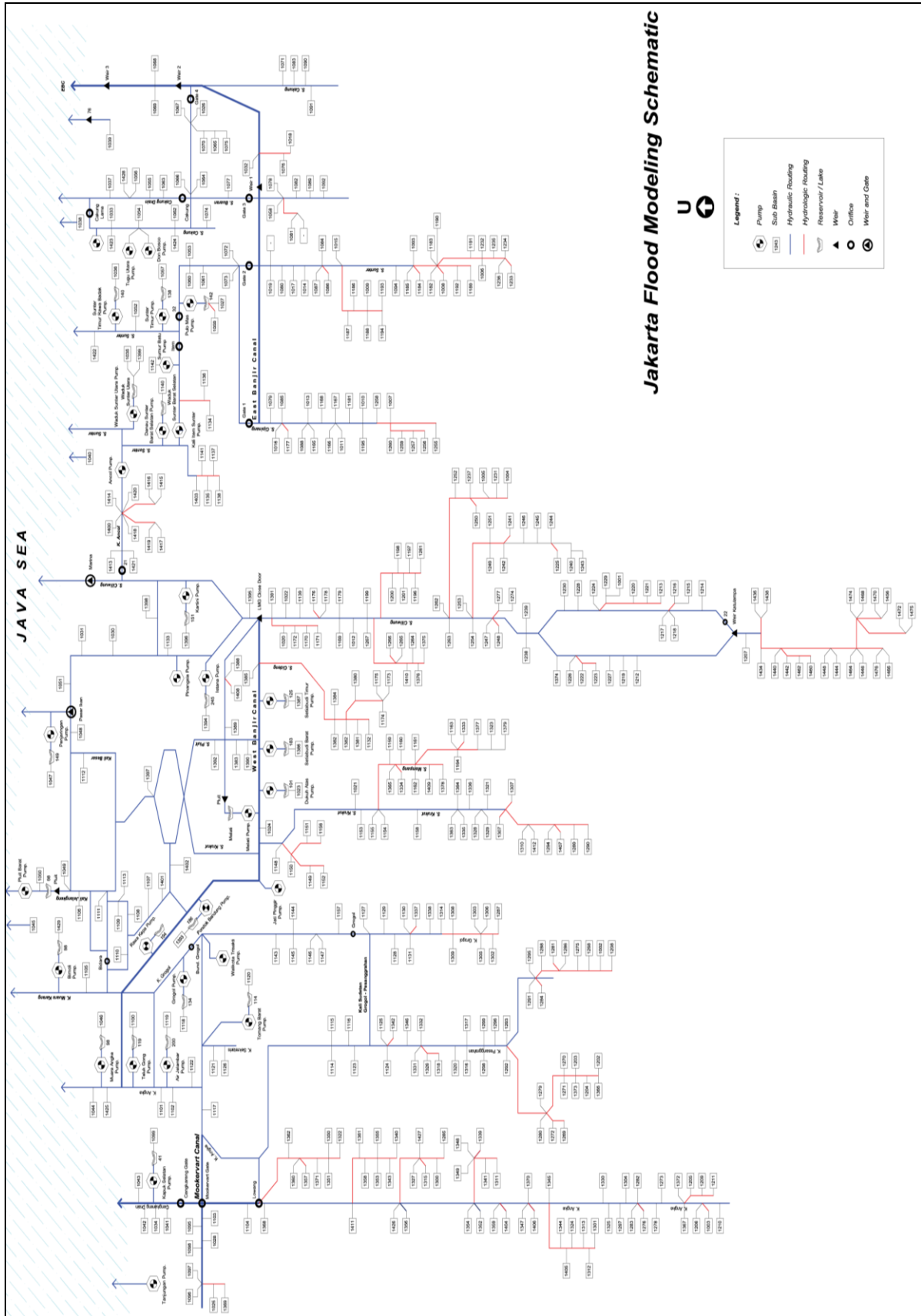
Jakarta. Proses ini kemudian dilanjutkan dengan melakukan proses *routing* di sungai dengan model hidraulik 1D. Kedua proses ini dikenal dengan pemodelan hidrologi dan hidraulik. Untuk pemodelan hidrologi, proses perubahan hujan menjadi limpasan dilakukan dengan metode Sacramento. Dalam prosesnya, DAS-DAS yang masuk ke Jakarta dan *catchment area* yang berada di Jakarta dibagi menjadi subDAS yang lebih kecil sehingga mencapai 449 subdas. Hasil pembagian DAS tersebut dapat dilihat pada Gambar 5. Setiap subDAS dari seluruh subDAS yang ada memiliki proses perhitungan hidrologi dalam melakukan transformasi hujan menjadi debit dengan kondisi parameter karakteristik DAS dan hujan yang berbeda.

Pengembangan Model Hidraulik

Perhitungan profil aliran pada saat terjadinya banjir dan juga terjadinya aliran disepanjang sungai dilakukan dengan menggunakan perhitungan secara hidraulik dengan memanfaatkan model matematis agar memudahkan. Perhitungan ini umumnya disebut sebagai model hidraulik. Secara umum model hidraulik banyak berkembang dengan berbagai vendor yang mengeluarkannya. Dengan perkembangan teknologi komputasi, maka berbagai perhitungan yang rumit dapat diselesaikan, bahkan untuk perhitungan profil aliran sungai secara 3D telah dapat dilakukan.

Berkaitan dengan pemodelan hidraulik yang dilakukan di Jakarta, maka seluruh 13 sungai dan juga 4 drainase utama yang terdapat di Jakarta tidak luput untuk dimodelkan. Oleh karena itu, untuk tujuan tersebut diperlukan geometri sungai maupun drainase. Geometri sungai yang diperlukan berupa penampang melintang dan penampang memanjang sungai dan drainase.

Geometri sungai bersumber dari berbagai kegiatan pengukuran yang telah dikerjakan oleh berbagai instansi. Dengan demikian diperlukan usaha ekstra untuk menyamakan titik referensi dari setiap pengukuran yang digunakan. Titik referensi yang digunakan dalam model adalah menggunakan sistem TM3 dan datum PP (peil priuk). Sistem drainase utama di Jakarta dimodelkan dengan model hidraulik 1D seperti dapat dilihat pada Gambar 6. Hasil konsep dari pemodelan di Jakarta dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7 Skematik pemodelan banjir Jakarta

Pengembangan model *overland flow*

Model hidraulik 1D umumnya telah banyak digunakan untuk melihat perilaku aliran sungai pada saat banjir. Namun bagaimana banjir tersebut mengenai daerah-daerah dataran banjir atau wilayah yang terkena banjir masih sangat jarang dilakukan, karena berbagai ketersediaan data yang terdapat di lapangan. Salah satu masukan (*input*) untuk dapat melakukan simulasi daerah-daerah yang terkena dampak banjir harus memiliki data *digital elevation model* (DEM) yang cukup akurat, jika memang memerlukan tingkat akurasi dari hasil simulasi cukup tinggi, namun jika tidak memerlukan akurasi yang tinggi dapat menggunakan DEM dengan skala yang lebih besar. Untuk daerah Jakarta, data *digital elevation model* yang digunakan cukup tinggi, yang diperoleh dari berbagai analisis citra satelit dan survei lapangan. Ukuran DEM yang digunakan sekitar 100 x 100 m untuk daerah secara umum. Namun ada beberapa ukuran *grid* yang lebih kecil untuk daerah-daerah khusus dan memang memiliki pengukuran yang lebih detail. Pengembangan model *overland flow* dengan model hidraulik 2D hanya mencakup wilayah Jakarta saja, karena diperuntukkan bagi daerah-daerah yang memang terkena dampak banjir. Hal ini dilakukan untuk menghemat waktu dalam melakukan simulasi.

Simulasi Model Banjir

Pemodelan banjir di Jakarta tidak hanya memasukkan *input* data geometri sungai, namun berbagai infrastruktur keairan berupa pompa, bendung, pintu air dan lain sebagainya tidak luput dari hal yang telah dipertimbangkan. Batasan pemodelan yang digunakan berupa kejadian hujan yang terjadi sehingga menghasilkan limpasan melalui pemodelan *rainfall-runoff* dan di bagian hilir sebagai batas bawah (*downstream boundary*) model digunakan pasang surut air laut. Untuk lebih jelasnya konsep tersebut dapat dilihat pada Gambar 8. Pemodelan banjir di Jakarta yang telah dibangun selain digunakan sebagai perangkat untuk pengambil keputusan juga digunakan untuk tujuan sistem peramalan dan peringatan dini banjir.

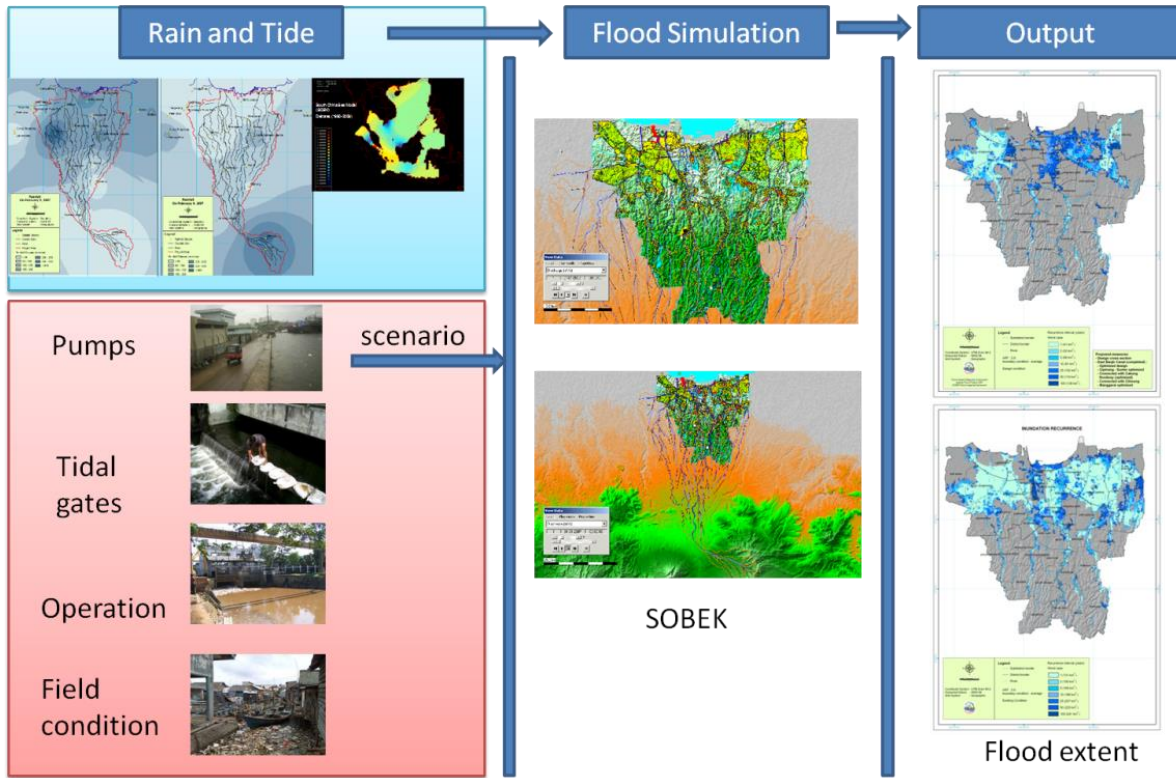
Kalibrasi dan validasi model banjir Jakarta

Model banjir yang telah dikembangkan dengan menggunakan perangkat lunak SOBEK, merupakan kombinasi antara model hidrologi dan hidraulik. Sebelum model yang dikembangkan digunakan untuk berbagai pengembangan alternatif pengendalian banjir, maka dilakukan kalibrasi terhadap model yang telah dikembangkan tersebut. Kalibrasi model banjir menggunakan data kejadian banjir pada tahun 2007 dan kemudian divalidasi dengan menggunakan data kejadian banjir tahun 2008. Kalibrasi model banjir yang telah dibangun terbagi menjadi dua bagian yaitu kalibrasi terhadap model hidrologi dan kalibrasi terhadap model hidraulik yang digunakan. Kalibrasi model hidrologi dilakukan terhadap parameter yang digunakan oleh model Sacramento, dengan membandingkan hidrograf debit puncak banjir hasil pengamatan dan hasil perhitungan. Kalibrasi ini hanya ditinjau pada empat lokasi yang memiliki titik pemantauan muka air yaitu di Katulampa dan Panus Depok untuk Sungai Ciliwung beserta Sawangan dan Kebun Jeruk di Sungai Pesangrahan. Hasil kalibrasi model banjir di empat titik yang telah dilakukan dapat dilihat pada Gambar 9 sampai dengan Gambar 12. Namun perbandingan secara numerik dari hasil kalibrasi dapat dilihat pada Tabel 1. Sedangkan untuk kalibrasi model hidraulik, dilakukan berdasarkan pemantauan muka air yang terjadi beserta daerah genangan yang terjadi pada saat banjir. Monitoring daerah genangan yang terjadi dibangun berdasarkan lokasi penempatan gardu PLN, dimana pada saat terjadinya banjir gardu PLN tersebut mengalami kerusakan atau tidak operasional. Berdasarkan data lokasi gardu PLN yang rusak tersebut, selanjutnya dikembangkan secara spasial untuk mengetahui wilayah yang tergenang seperti terlihat pada Gambar 13.

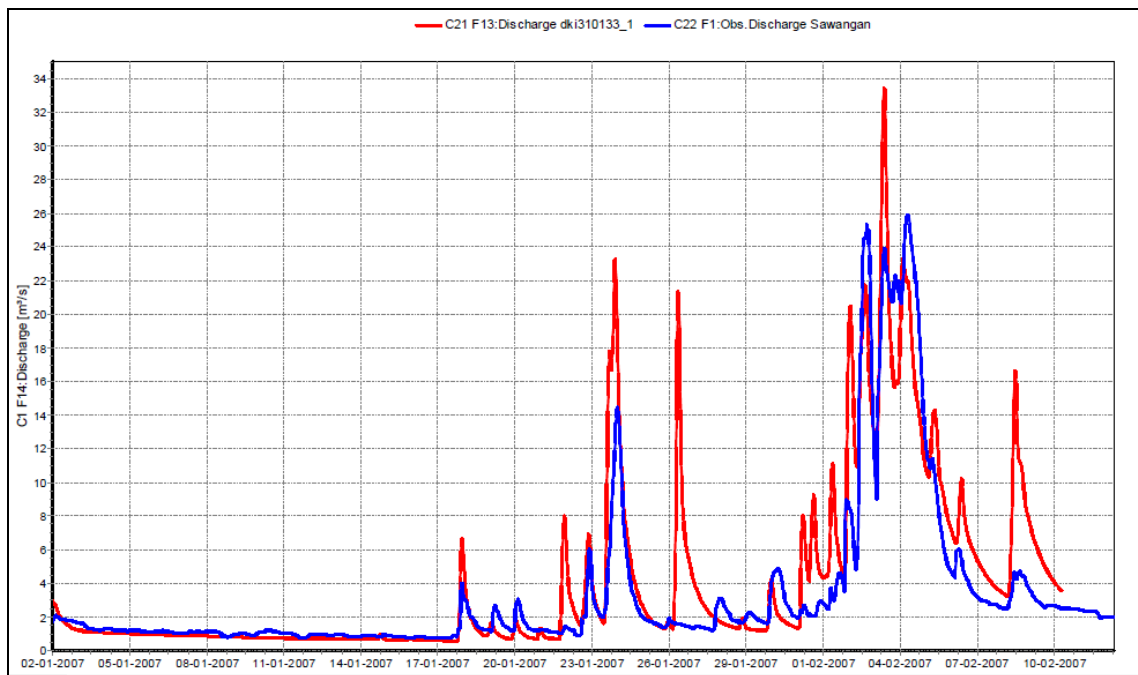
Kejadian banjir pada tahun 2008 digunakan sebagai validasi model banjir yang telah dibangun. Hasil validasi model ditinjau di empat titik lokasi seperti pada proses kalibrasi sebelumnya. Adapun hasil validasi model banjir di Jakarta dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 1 Hasil kalibrasi model banjir pada tahun 2007

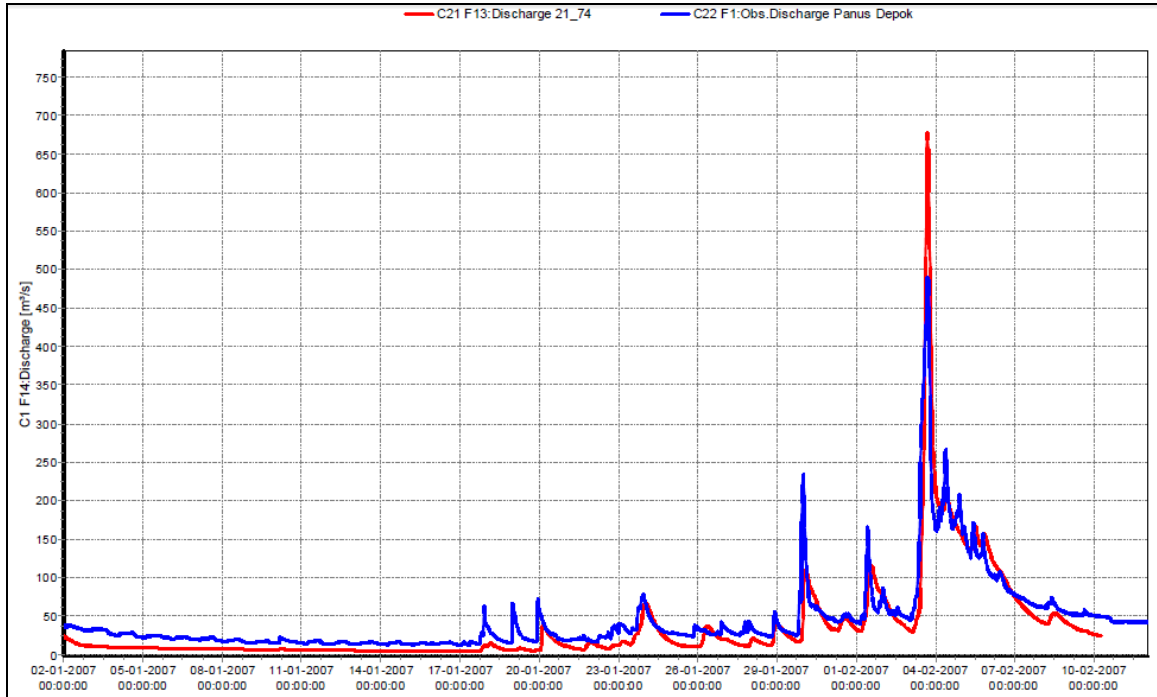
Keterangan	Satuan	Katulampa		Panus Depok		Sawangan		Kebun Jeruk	
		Observed	Simulasi	Observed	Simulasi	Observed	Simulasi	Observed	Simulasi
Debit Puncak Banjir	(m ³ /s)	515	660	490	677	25.89	33.47	97.4	156.7
Rasio debit puncak/debit pengamatan		-	1.28	-	1.38	-	1.29	-	1.61
Total volume 31 Jan - 6 Feb 2007	(Mm3)	42.14	55.12	62.29	62.55	6.07	6.66	30.39	32.51
Rasio total volume 31 Jan - 6 Feb 2007		-	1.31	-	1.0	-	1.1	-	1.07
Volume 2 Feb - 4 Feb 2007	(Mm3)	31.53	36.62	40	40.21	4.77	4.68	20	24.02
Rasio total volume 2 - 4 Feb 2007		-	1.16	-	1.01	-	0.98	-	1.2



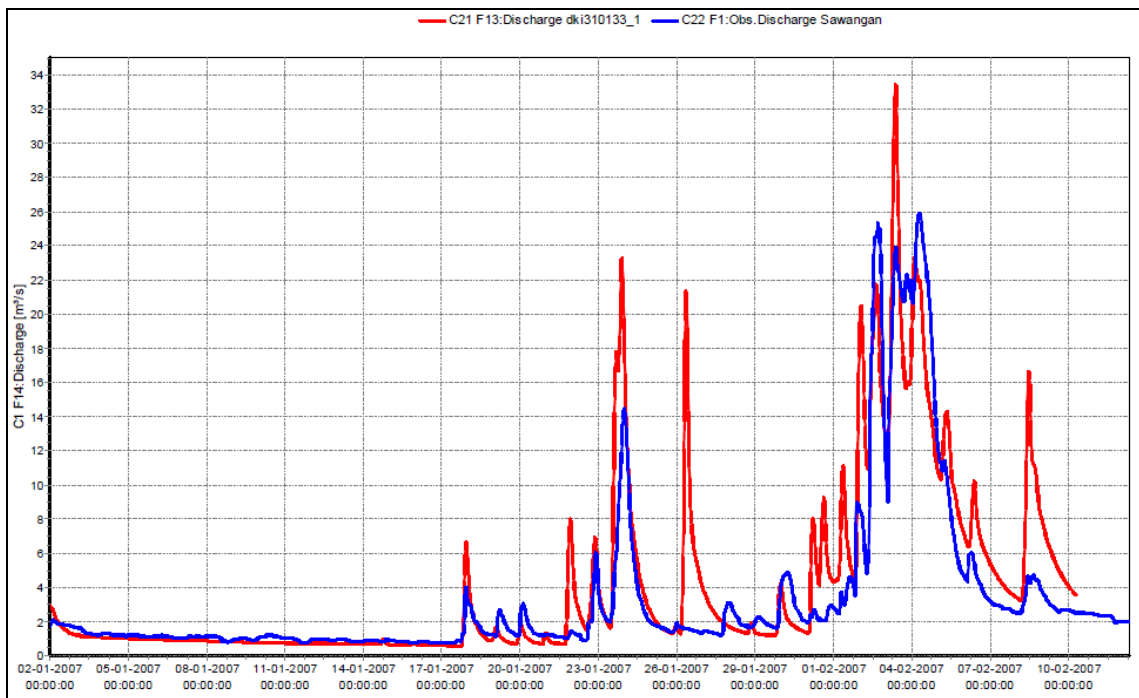
Gambar 8 Konsep pemodelan banjir Jakarta



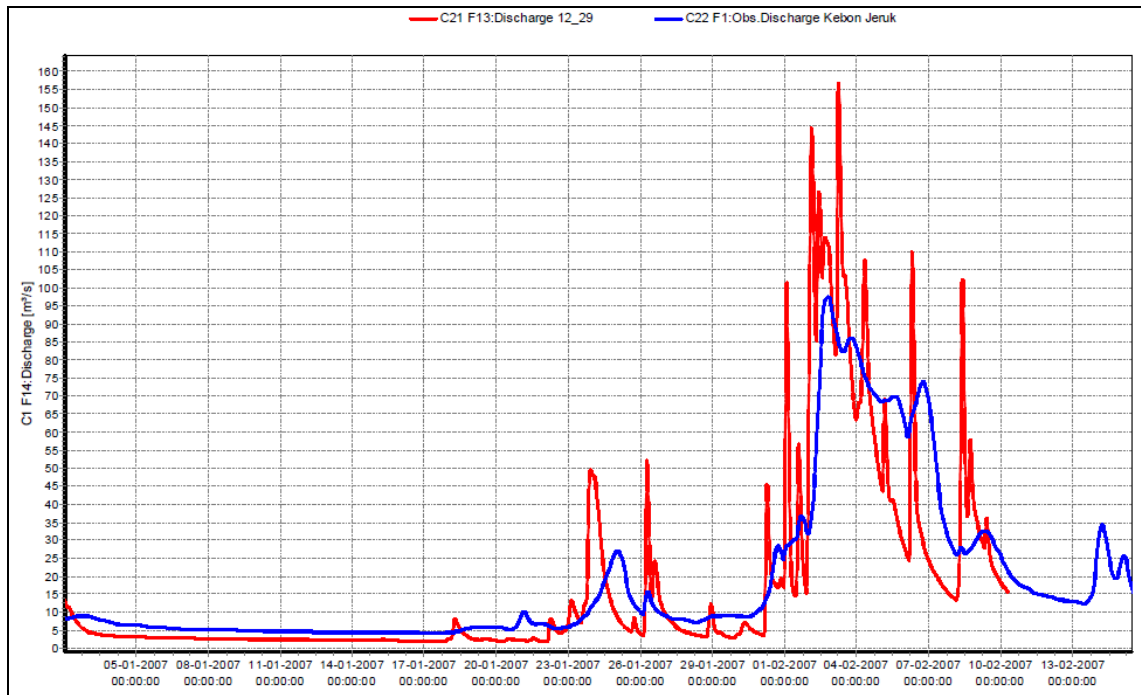
Gambar 9 Hasil kalibrasi di Katulampa pada tahun 2007



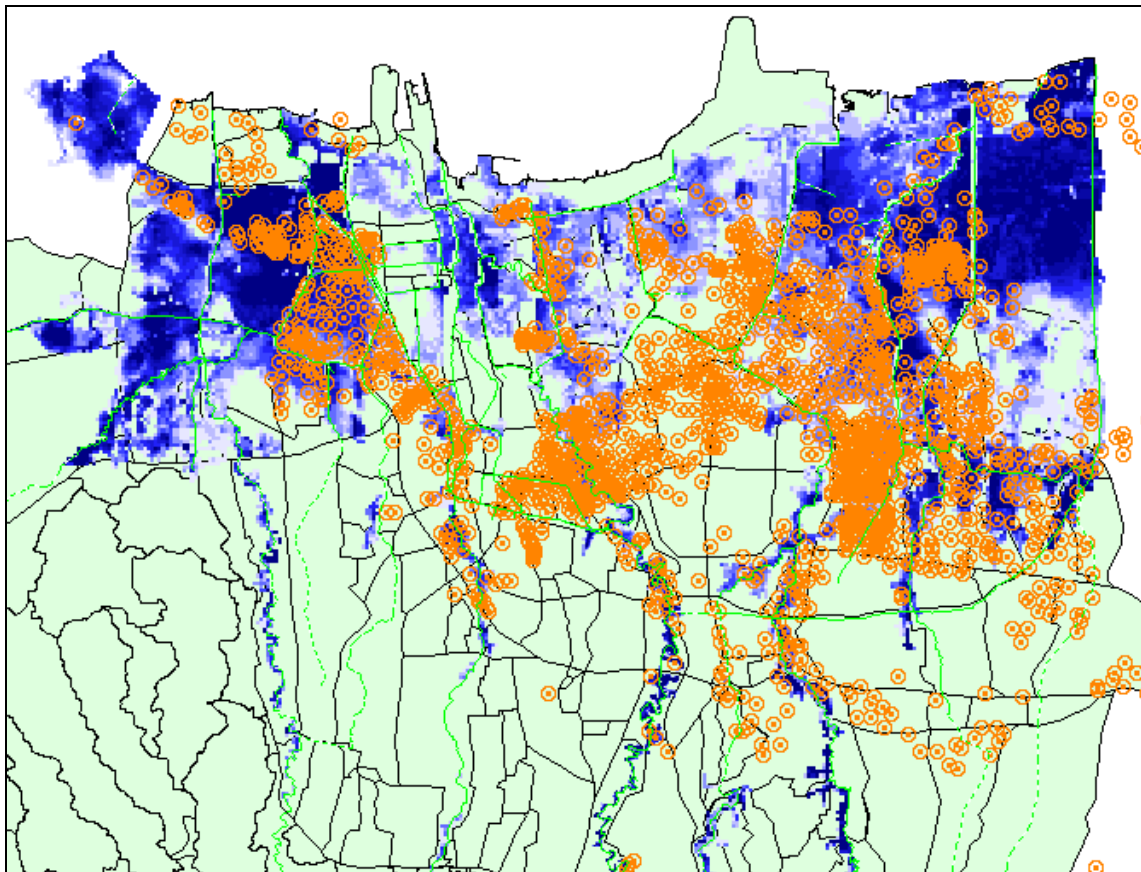
Gambar 10 Hasil kalibrasi di Panus Depok pada tahun 2007



Gambar 11 Hasil kalibrasi di Sawangan pada tahun 2007



Gambar 12 Hasil kalibrasi di Kebon Jeruk pada tahun 2007



Gambar 13 Perbandingan hasil model (warna biru: grid genangan banjir) dengan lokasi-lokasi gardu PLN terkena dampak banjir (lingkaran warna kuning)

Tabel 2 Hasil validasi model banjir pada tahun 2008

Keterangan	Satuan	Katulampa		Panus Depok		Sawangan		Kebun Jeruk	
		Observed	Simulasi	Observed	Simulasi	Observed	Simulasi	Observed	Simulasi
Debit Puncak Banjir	(m ³ /s)	183	106	240	124	15.9	23	52.4	133.3
Rasio debit puncak/debit pengamatan		-	0.58	-	0.52	-	1.44	-	2.54
Total volume 1 Jan - 4 Jan 2008	(Mm3)	23.26	21.81	43.8	29.9	1.13	2.61	8.59	6.58
Rasio total volume 31 Jan - 6 Feb 2008		-	0.94	-	0.68	-	2.31	-	0.77
Total volume 31 Jan - 6 Feb 2008	(Mm3)	9.26	10.54	28.03	15.2	1.47	1.95	10.66	10.17
Rasio total volume 31 Jan - 6 Feb 2008		-	1.15	-	0.54	-	1.33	-	0.95
Total volume 1 Feb - 4 Feb 2008	(Mm3)	7.02	8.07	17.1	10.99	1.11	1.5	8.21	8.62
Rasio total volume 1 Feb - 4 Feb 2008		-	1.15	-	0.64	-	1.35	-	1.05

Skenario simulasi banjir Jakarta

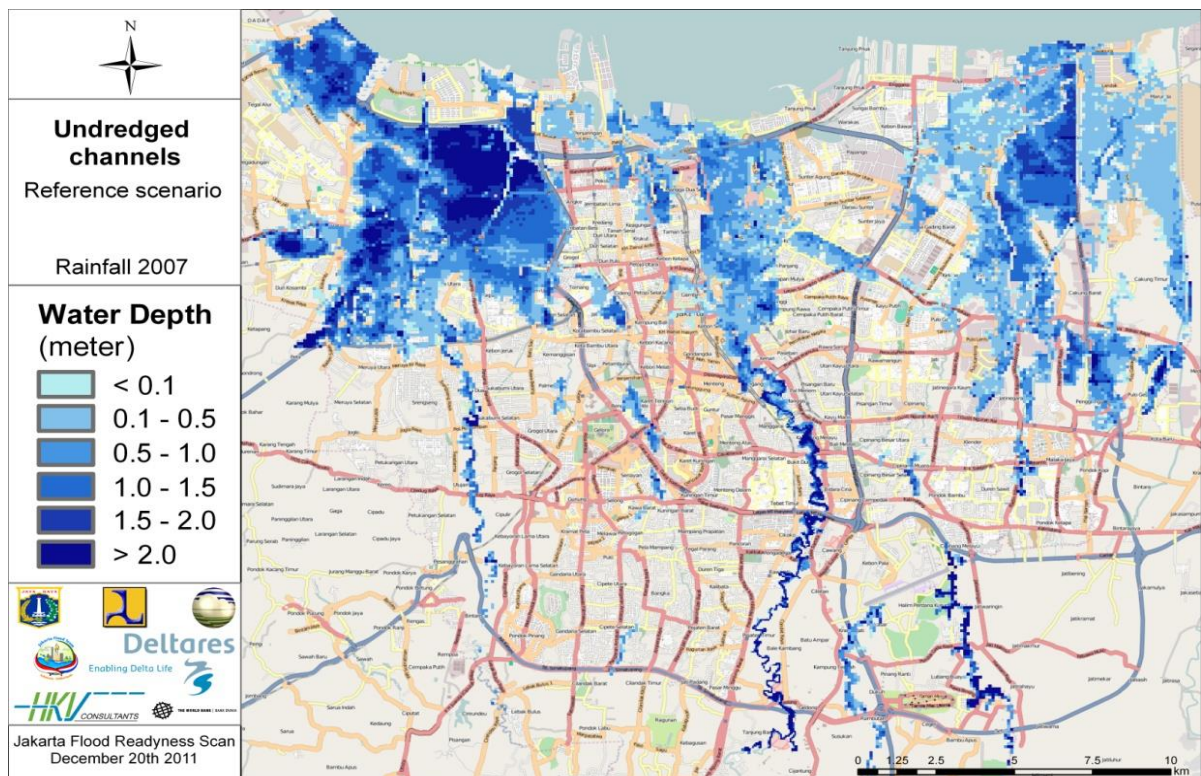
Terbentuknya kerangka pemodelan banjir Jakarta tidak hanya digunakan sistem peramalan dan peringatan dini banjir, namun juga dapat digunakan sebagai alat untuk pengambilan keputusan dalam rangka untuk mencari solusi pengendalian banjir di Jakarta. Langkah-langkah atau solusi pengendalian banjir di Jakarta dapat dilakukan melalui simulasi model banjirnya untuk melihat efektifitas dalam mereduksi banjir. Berbagai alternatif pengendalian banjir kemudian dapat disimulasikan untuk menilai solusi mana yang paling efektif dalam rangka pengurangan daerah genangan dibandingkan dengan biaya yang harus dikeluarkan.

Tidak hanya dapat menilai efektifitas dari apa yang akan dilakukan, namun juga dapat digunakan untuk melihat dampak yang akan terjadi jika infrastruktur keairan yang terdapat di

Jakarta mengalami kegagalan fungsional, sehingga dengan mudah untuk melakukan pencegahan dampak resiko yang disebabkan.

Berikut ini merupakan berbagai hasil simulasi model banjir di Jakarta yang digunakan untuk melihat dampak yang akan ditimbulkan jika infrastruktur tidak fungsional dan efektifitas dari solusi pengendalian banjir yang terdapat di Jakarta. Alternatif-alternatif tersebut untuk selanjutnya disebutkan sebagai skenario dalam melakukan simulasi.

Sebelum melakukan simulasi untuk skenario yang diinginkan, maka terlebih dahulu melihat dampak banjir yang terjadi pada tahun 2007 berdasarkan hasil pemodelan. Dengan demikian maka hasil ini merupakan pembanding untuk skenario yang akan digunakan untuk melihat efektifitasnya. Hasil pemodelan banjir 2007 di Jakarta dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14 Genangan banjir hasil simulasi pada kondisi banjir 2007

Gambaran daerah genangan banjir 2007 berdasarkan model seperti terlihat pada Gambar 14, dapat digunakan sebagai acuan untuk melihat hasil simulasi dari skenario-skenario yang akan disimulasikan. Berikut ini merupakan beberapa skenario yang akan digunakan untuk menilai efektifitas serta dampak yang ditimbulkannya. Skenario tersebut adalah sebagai berikut:

- 1 skenario untuk melihat efektifitas Banjir Kanal Timur dalam mereduksi banjir
- 2 skenario untuk melihat dampak genangan banjir apabila tidak berfungsinya beberapa pompa yang terdapat di Jakarta
- 3 skenario untuk melihat dampaknya apabila Waduk Pluit mengalami kerusakan akibat muka air laut naik.

Skenario yang pertama, yaitu untuk melihat efektifitas dari Banjir Kanal Timur dalam mereduksi banjir yang terjadi pada tahun 2007. Pada tahun 2007, dimana BKT belum terbangun sehingga belum dapat digunakan untuk pengendalian banjir di Jakarta, namun kita bisa melihat dampaknya apabila kejadian banjir sama dengan kondisi 2007 dan BKT telah operasional. Hasil dari simulasi dengan menggunakan skenario tersebut di atas dapat dilihat pada Gambar 15. Berdasarkan Gambar 15 dapat dilihat bahwa terjadinya pengurangan genangan banjir sekitar 10% untuk seluruh wilayah Jakarta, namun dapat mengurangi banjir sekitar 32% untuk genangan yang terjadi di sekitar BKT.

Sama halnya jika skenario berikutnya seperti kerusakan pompa yang terjadi di Jakarta sehingga tidak dapat melakukan fungsinya dengan baik. Hal ini dapat dilihat dampak yang akan ditimbulkannya. Untuk kasus ini, kerusakan pompa yang terjadi hanya pada pompa Sunter Utara, Sunter Timur III dan pompa Tomang Barat. Dengan kejadian banjir seperti pada Tahun 2007, maka

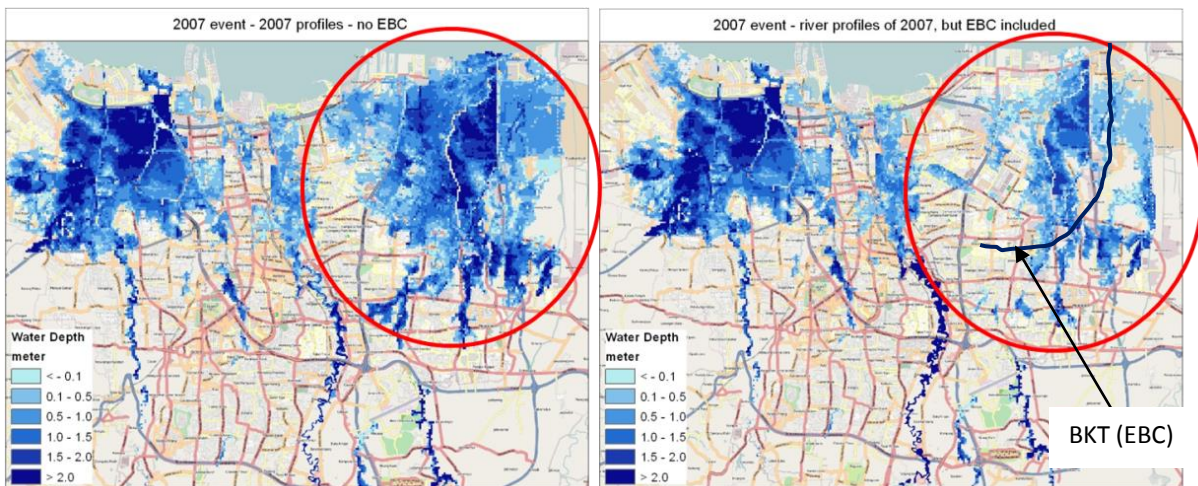
dampak genangan yang dihasilkan seperti terlihat pada Gambar 16.

Genangan banjir seperti pada Gambar 16 akan lebih luas bila dibandingkan dengan genangan banjir seperti yang terlihat pada Gambar 15. Besarnya peningkatan luas genangan tersebut akibat tidak berfungsinya beberapa pompa seperti yang disebutkan sebelumnya adalah sekitar 5%.

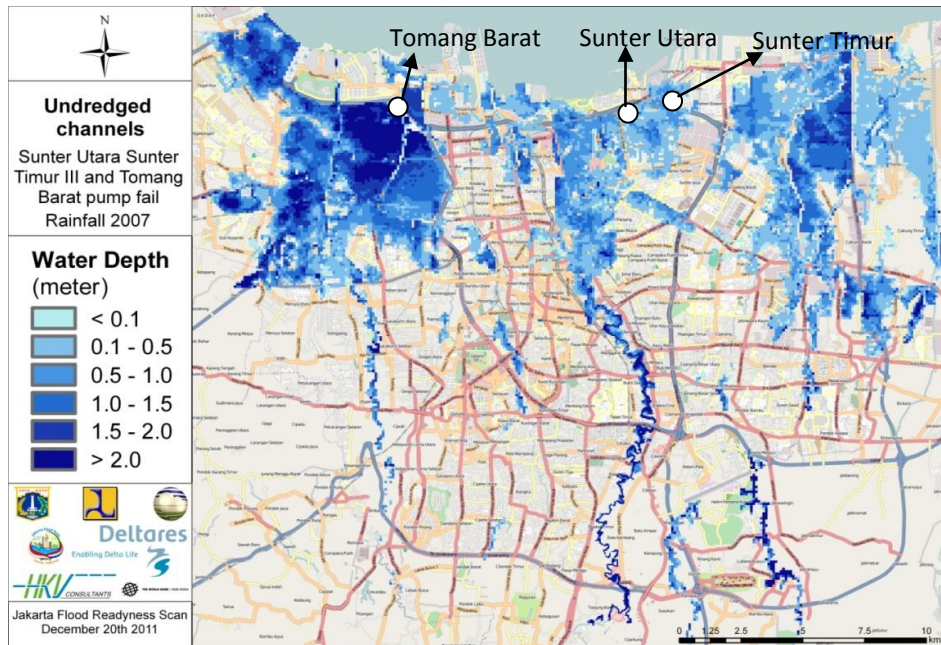
Kasus ketiga yang akan diskenariokan adalah bagaimana dampak yang terjadi apabila tanggul di Waduk Pluit rusak akibat naiknya muka air laut. Pada kasus ini, hujan di hulunya tidak terjadi, hanya disebabkan oleh pasang surut air laut. Genangan yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 17. Genangan yang terjadi akibat skenario ini dapat mengenai sampai ke Istana Negara. Besarnya luas genangan adalah sekitar 1.490 Ha.

KESIMPULAN

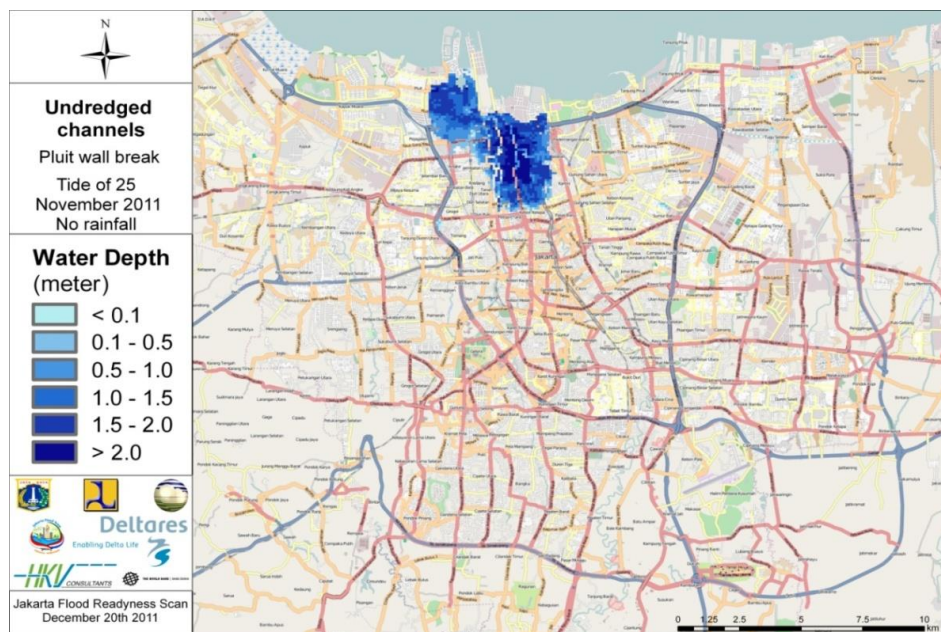
Berdasarkan hasil kajian pemodelan banjir di Jakarta dapat disimpulkan bahwa, model banjir di Jakarta yang telah dibangun sangat baik digunakan untuk pengambilan keputusan dalam rangka untuk mencari alternatif solusi pengendalian banjir di Jakarta. Karena dapat dengan mudah untuk diaplikasikan oleh para pemangku kepentingan dalam mengambil keputusan dengan melakukan simulasi banjir dengan berbagai skenario. Sistem pemodelan ini dapat juga dikembangkan lebih lanjut sebagai suatu sistem peringatan dini banjir di Jakarta. Model banjir yang dibuat dikalibrasi dan divalidasi berdasarkan data kejadian banjir tahun 2007 dan 2008. Hasil kalibrasi model tersebut menunjukkan bahwa model banjir yang dibangun cukup baik, dimana hasil prediksi berdasarkan model dan berdasarkan hasil pengamatan di lapangan memberikan hasil yang cukup akurat.



Gambar 15 Hasil simulasi banjir akibat adanya BKT (EBC)



Gambar 16 Genangan banjir akibat beberapa pompa tidak berfungsi



Gambar 17 Genangan banjir berdasarkan skenario apabila tembok Pluit jebol

Model banjir yang terkalibrasi, selanjutnya digunakan untuk melihat efektifitas daripada beberapa alternatif skenario pengendalian banjir seperti efektifitas Kanal Banjir Timur terhadap permasalahan banjir di Jakarta hanya dapat mengurangi sekitar 10% banjir di seluruh Jakarta, namun dapat mengurangi sekitar 32% untuk wilayah KBT. Apabila Waduk Pluit mengalami kerusakan sehingga air laut masuk, maka dampaknya akan sampai pada Istana Negara, dengan luas area genangan mencapai 1.490 Ha.

Dengan terbentuknya pemodelan banjir di Jakarta, maka aplikasi model banjir ini dapat digunakan bagi para perencana dalam melakukan berbagai skenario pengendalian banjir di Jakarta untuk melihat efektifitas yang akan dihasilkan sehingga dapat menghemat waktu dan biaya.

Aplikasi lain model banjir Jakarta ini adalah dapat digunakan secara on line untuk peringatan dini banjir jakarta.

DAFTAR PUSTAKA

- Deltares, Urban Solution, Witteveen Boss, MLD, Tripple-A, Pusair, ITB. 2011. *ALTAS Pengamanan Pantai Jakarta: Strategi Pengamanan Pantai Jakarta / Jakarta Coastal Defence Strategy (JCDS)* Kerjasama antara Pemerintah Indonesia dan Pemerintah Belanda.
- Daniel, E. B.; Camp, J.V.; LeBoeuf, E J.; Penrod, J.R.; Abkowitz, M.D.; and Dobbins, J.P.; 2010. Watershed Modeling Using GIS Technology: A Critical Review. *Journal of Spatial Hydrology Vol.10, No.2.*
- Haider, S.; Paquier, A.; Morel, R. and Champagne, J.Y., 2003. Urban flood modelling using computational fluid dynamics. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers Water & Maritime Engineering* 156.
- Huang, S.; Vorogushyn, S. and Lindenschmidt, K.E., 2007. Quasi 2D hydrodynamic modelling of the flooded hinterland due to dyke breaching on the Elbe River. *Adv. Geosci., 11, 21–29, 2007.*
- Ludwig, R.; Taschner, S; Mauser, W., 2003. Modelling floods in the Ammer Catchment: limitations and challenges with a coupled meteo-hydrological model approach. *Hydrol. Earth Syst. Sci., 7(6), 833-847.*
- Muzik, I., 1996. Flood Modelling with GIS-Derived Distributed Unit Hydrographs. *Hydrol. Process., 10: 1401–1409.*
- Ogink, HJM.; Prinsen, GF.; Verschelling, E.; Brinkman.JJ., 2009. *FHM modelling framework: Hydrology and Hydraulics.* Flood Hazard Mapping 2.
- Peters, R.; Schmitz, G. and Cullmann, J., 2006. Flood routing modelling with Artificial Neural Networks. *Adv. Geosci., 9, 131–136, 2006.*
- Saadi, Y., 2008. One-Dimensional Hydrodynamic Modelling for River Flood Forecasting. *Civil Engineering Dimension, Vol. 10, No. 1, March 2008, 51-58* ISSN 1410-9530.
- Stelling, G.S. and Verwey A., 2005. Numerical Flood Simulation. *In Encyclopedia of Hydrological Science.* Editor: Malcolm G Anderson.
- Todini, E., 2007. Hydrological Catchment Modeling: past, present and future. *Hydrol. Earth Syst. Sci., 11(1), 468-482.*
- Verschelling, E., and Udo, J., 2007. Dutch assistance with non-structural measures Jakarta Flood Management: *Hydraulic. Flood Hazard Mapping Component.*

UCAPAN TERIMA KASIH

Tulisan ini merupakan bagian dari kegiatan penelitian yang dilakukan oleh Deltares dan Pusat Litbang SDA yang tergabung dalam program *Joint Corporation Program* (JCP). Terima kasih diucapkan kepada pihak-pihak terkait yang memiliki kontribusi terhadap kegiatan ini.