

PREDIKSI BANJIR KALI PORONG

Entin Hidayah¹, Indarto², dan Subandi³

¹⁾ Jurusan Teknik Sipil Universitas Jember, entin_hidayah@yahoo.com

²⁾ Jurusan Teknologi Pertanian Universitas Jember, indarto.tep@unej.ac.id

³⁾ *Pompeangan Jeneberang Large River Basin Organization, Makassar*, subandi_me@yahoo.co.id

ABSTRACT

Porong channel as flood-way has a heavy burden if rainfall occurs in the Brantas River Basin and tributaries that flow into the river. The peak flood, and the accuracy of the estimated travel time of water from DAM Lengkong to the Porong river estuary are important to be observed as monitor the water level flooding along the channel in order to anticipate the backwater during high tides and the flow from Lapindo. Prediction of the single event flood requires a finer scale data such as hourly extremely useful for understanding the hydrological processes in detail and identify the relevant parameters. The modelling method is combining between the estimated direct runoff and flood routing. The direct runoff is estimated by synthetic unit hydrograph using Clark methods, and the base flow is estimated by recession exponential method, and flood routing along Porong channel is estimated by the Muskingum method. HEC-HMS 3.5 program is used to process modelling. The results of hydrologic modeling indicate that the model is suitable for the finer time-scale (hours). Model parameters such as recession constant for baseflow and K for flood routing are sensitive.

Keywords: forecasting, routing flood, direct runoff, HEC HMS.

1. PENDAHULUAN

Kali Porong merupakan *floodway* untuk melimpaskan air sisa irigasi dan melindungi Kota Surabaya dari banjir yang berasal dari Kali Brantas. Fungsi ini harus dijaga dari kondisi saat terjadi debit besar melimpas di Kali Porong diikuti adanya *backwater* dari muara. Terlebih setelah adanya keputusan Presiden untuk mengalirkan lumpur lapindo ke Selat Madura melalui Kali Porong, beban Kali Porong menjadi ganda, yaitu sebagai *floodway* sekaligus untuk mengalirkan lumpur ke Selat Madura.

Dengan demikian, debit aliran, rambatan waktu banjir dari dam Lengkong sampai dengan Kali Porong juga merupakan masalah penting yang harus diperhitungkan jika terjadi banjir di Kali Porong guna mengamati perubahan morfologi saluran, serta tinggi muka air banjir. Namun demikian, tidaklah mudah untuk memperoleh data-data debit tersebut dikarenakan keterbatasan alat ukur pencatat debit sehingga perlu dilakukan prediksi debit berdasarkan data hujan infow yang masuk ke Kali Porong. Bagaimana menerapkan pemodelan hidrologi yang efektif dan akurat ketika dihadapkan dengan data yang tidak lengkap tersebut sering menjadi masalah bagi pemodel.

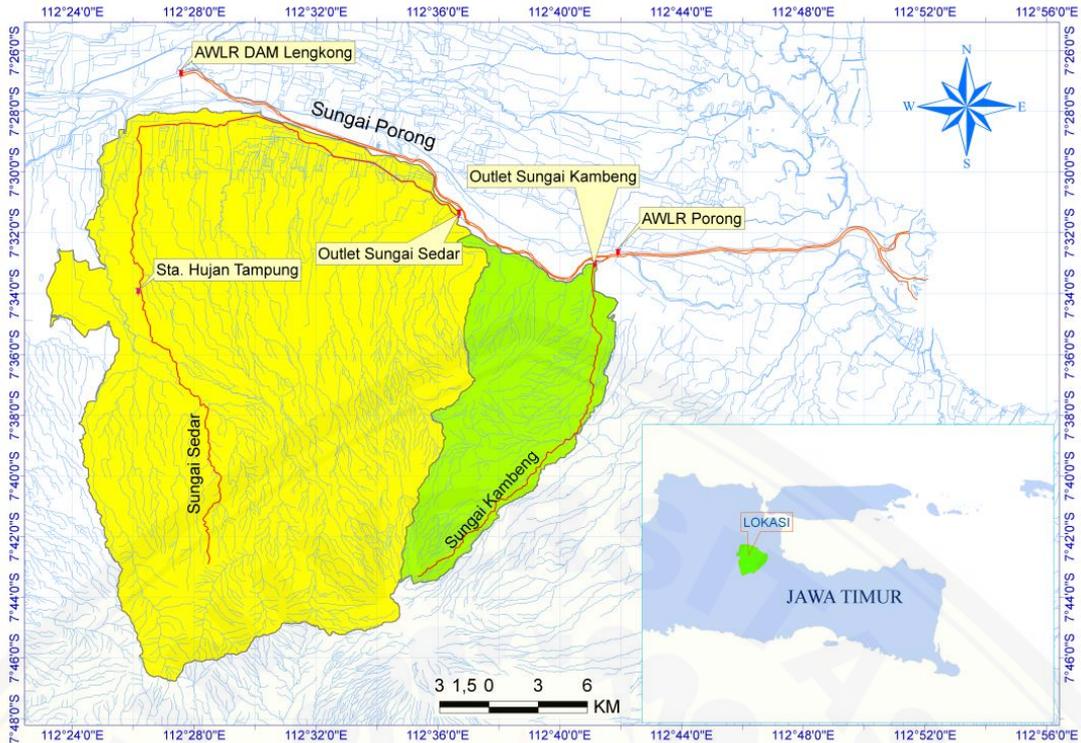
Beberapa peneliti telah sukses melakukan prediksi debit banjir menggunakan model hidrologi HEC-HMS dengan memadukan metode penelusuran banjir muskingum disalurkan dengan berbagai metode perhitungan direct *runoff* pada sub DASnya. Song (2011) melakukan untuk DAS Louzigou di Propinsi Henan, China. Kesalahan relatif yang dihasilkan untuk debit puncak kurang dari 20% dan untuk volume limpasan kurang dari 10% dari 100% sehingga metode ini dapat digunakan untuk DAS tidak

mempunyai alat ukur. Arekhi (2012), melakukan di DAS Kan, Iran dicapai hasil optimum. Kaffas dan Hrissanthou (2014) mengaplikasikan untuk Sungai Kosynthos di Thrace, northeastern Greece dengan pendekatan estimasi untuk *rainfall losses* menggunakan SCS model, transformasi hujan-aliran menggunakan hydrograph SCS, perhitungan *baseflow* dengan model *exponential recession*. Penelusuran banjir pada sungai dengan Muskingum-Cunge memberikan hasil yang memuaskan. Roy et al, (2013), mengkalibrasi dan validasi respon hidrologi untuk DAS di India Timur memberikan hasil yang bagus dengan membagi parameter berdasarkan musimnya. Oleh karena itu, kombinasi model penelusuran banjir di kali Porong dengan model hujan-aliran yang berasal dari anak-anak sungai yang merupakan inflow penting untuk diaplikasikan di kali Porong.

2. WILAYAH STUDI

Kali Porong sebagai *floodway* kali Brantas yang bermuara di Selat Madura mendapat *inflow* dari DAM Lengkong dan dua anak sungai yaitu Kali Sedar dan Kali Kambeng. Panjang sungai dan kemiringan lereng secara berturut-turut dari Dam Lengkong sampai *outflow* Kali Sedar yang disebut (SP1) adalah 50 km dan 0,00014; dari hulu sungai utama kali Sedar sampai *outflow* Kali Sedar yang disebut (SP2) adalah 53,89 km dan 0,031; di Kali Porong dari *outflow* Kali Sedar sampai *outflow* kali Kambeng yang disebut (SP3) adalah 23,5 km dan 0,00025; dari hulu sungai utama kali Kambeng sampai *outflow* Kali Kambeng yang disebut (SP4) adalah 26,08 km dan 0,087; dan di Kali Porong dari *outflow* Kali Kambeng sampai Jembatan Porong disebut (SP5) adalah 3,5 km dan 0,00021.

Luas sub DAS kali Sedar sebesar 644,03 km² dan sub DAS kali Kambeng sebesar 136,99 km². DAS ini memiliki fungsi tata guna lahan, berupa: belukar, gedung, hutan, kebun, pasir darat, permukiman, rumput, sawah irigasi, stanah berbatu, awah tadah hujan, tanah dan ladang/tegalan. Kedua sub-DAS ini berbentuk asimetri. Posisi koordinat pada wilayah studi ini adalah 7°26'S dan 7°48'S dan 112°22'E dan 112°42'E seperti terlihat pada gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Kali Porong

3. METODOLOGI

3.1. Pengolahan Data Meteorologi

Delineasi batas sub-DAS dibuat peta RBI menggunakan kontur elevasi yang diekstrak dengan software Arc View. Penelitian pada sistem DAS ini dibagi menjadi dua Sub-DAS (selanjutnya disebut sebagai, Sedar dan Kambeng) dalam rangka untuk memperhitungkan variabilitas spasial curah hujan dan karakteristik respon limpasan. Debit pengamatan Sub DAS diukur di akhir outletnya (stasiun pengukuran Kali Porong), sehingga masih memungkinkan untuk dilakukan kalibrasi dan validasi model pada node di luar DAS. Metode Penman digunakan untuk menghitung evapotranspirasi potensial pada DAS.

Data hidrologi diperoleh dari Perum Jasa Tirta I (PJT I Malang) yang meliputi data hujan dan data debit mulai dari tahun 2004–2011. Data hujan jam-jaman hasil pencatatan stasiun *automatic rainfall raingauge* (ARR) di stasiun Tampung digunakan sebagai input pemodelan hujan aliran pada sub DAS Sedar dan sub DAS Kambeng. Data debit jam-jaman hasil pengukuran *automatic water level recorder* (AWLR) di Bendung Lengkong Baru digunakan sebagai input model dan di Jembatan Jalan Raya Porong digunakan sebagai dasar kalibrasi dan validasi model.

3.2. Konsep Pemodelan

Hec-HMS adalah model untuk mensimulasi hujan menjadi aliran yang dirancang untuk sistem DAS yang dendritik dan dengan memperhitungkan algoritma kelembaban tanah untuk menghitung keseimbangan kelembaban tanah serta cocok

untuk mensimulasi debit banjir series maupun tunggal seperti yang dilakukan oleh Chu et.al, (2009), Arekhi (2012). Model ini membutuhkan input dari data curah hujan, kondisi tanah, tata guna lahan, panjang sungai, kemiringan sungai dan data hidro meteorologi lainnya. Pemodelan hujan-aliran pada DAS Sedar dan Kambeng ini untuk *surface* menggunakan metode *lump (simple-surface)*, untuk perhitungan loss-nya menggunakan metode SCS-CN; untuk transformasi hujan menjadi alirannya menggunakan unit hidrograf Clark (Clark, 1945), untuk mengestimasi aliran dasarnya menggunakan *recession exponential* (Maidment, 1992), untuk canopy-nya menggunakan simple canopy. Sedangkan untuk penelusuran banjirnya menggunakan metode muskingum.

3.2.1.1. Model tunggal SCS-CN

Metode Soil Conservation Service curve number (SCS – CN), USDA (1986) merupakan model empiris, satu parameter (CN), dan model hujan - limpasan untuk kejadian tunggal atau kontinyu. Nilai CN dihitung dengan cara *lump*, diperkirakan berdasarkan tata guna lahan, tutupan lahan dan informasi tanah. Metode SCS - CN ini telah banyak digunakan untuk memperkirakan curah hujan yang dihasilkan limpasan permukaan untuk pemodelan hidrologi suatu DAS seperti yang dilakukan oleh Chu et.al, (2009), Kaffas dan Hrissanthou (2014). Metode SCS - CN dipilih dalam penelitian ini karena ketersediaan data spasial untuk DAS Sedar dan Kambeng memungkinkan untuk dilakukan pemodelan. Model SCS-CN ini diformulasikan oleh (USDA 1986)

$$R = \frac{P_e^2}{P_e + S} \quad (1)$$

dimana:

$$P_e = P - I_a \quad (2)$$

$$I_a = \alpha S \quad (3)$$

$$S = \frac{2,54}{CN} - 24,5 \text{ (cm)} \quad (4)$$

Dengan R = komulatif debit, P = komulatif hujan, P_e = komulatif hujan efektif, S = potential maximum retention; I_a =initial abstraction (total initial losses: surface depression storage, vegetation interception, dan infiltrasi), α =koefisien initial abstraction dan CN =curve number.

3.2.2. Lag Time dan Waktu Konsentrasi

Metode penelusuran banjir di sub DASnya membutuhkan perhitungan perbedaan waktu antara pusat massa dari kelebihan curah hujan dan puncak dari unit hidrograf (*Lag time*, T_{lag}). *Lag time* dapat diketahui dari besarnya waktu konsentrasi (T_c) di sub-DASnya. Persamaan untuk menentukan waktu konsentrasi dan *Lag time* (T_{lag}) diformulasikan di (5) dan (6) sebagai berikut (*Technical Reference Manual HEC-HMS 2000*):

$$T_c = \frac{100 L^{0,8} \left[\frac{1000}{CN} - 9 \right]^{0,7}}{1900 S^{0,5}} \quad (5)$$

$$T_{lag} = 0,6T_c \quad (6)$$

Dengan T_c = Waktu konsentrasi, L = Panjang sungai, CN = *Curve number*, S = Parameter retensi, T_{lag} = perbedaan waktu antara pusat massa dari kelebihan curah hujan dan puncak dari unit hidrograf. Persamaan waktu konsentrasi ini dapat juga digunakan untuk menentukan waktu konsentrasi untuk unit hidrograf metode Clark (*Technical Reference Manual HEC-HMS*, 2000).

3.2.3. Koefisien Muskingum

Metode Muskingum adalah salah satu metode yang terbaik yang dikenal untuk penelusuran banjir. Beberapa karya menggunakan metode Muskingum adalah misalnya Miroslav et al, (2010), Elbashir, (2011). Pendekatan ini didasarkan pada asumsi adanya hubungan yang linier antara *storage* saluran dan debit inflow dan outflow dan segala konsekwensinya, hal ini cocok untuk saluran berbentuk prisma dengan tampungan yang cukup tinggi. Menuju hilir sungai, outflow dapat dihitung dengan persamaan (7) dan (8).

$$\frac{dW}{dt} = I - O \quad (7)$$

$$W = K[xI + (1 - x)Q] \quad (8)$$

dimana W = storage, t = waktu, I = inflow, dan Q = outflow. Persamaan (7) mewakili kesetimbangan massa, dan persamaan (8) mengekspresikan volume simpanan pada saluran, yang mana kombinasi linier secara sederhana dari debit inflow pada upstream dan outflow pada downstream. Pada persamaan (7) dan (8), K dan x adalah dua parameter model yang ditentukan berdasarkan debit pengamatan yang mewakili storage-time konstan. K merupakan nilai yang menunjukkan waktu perjalanan aliran di saluran dan x mewakili faktor pembobotan dengan kisaran nilai dari 0-0.5. Oleh karena itu, tujuan dari model Muskingum adalah untuk mengestimasi nilai parameter K dan x .

3.3. Pengaturan Parameter Model

Parameter yang dikalibrasi dalam pemodelan banjir tunggal ini ada 5. Untuk proses pemodelan hujan-aliran pada DAS Sedar dan Kambeng, parameternya meliputi koefisien *storage kanopi* dan *surface* berupa persen *initial storage* dan maksimum *storage* (mm)) dan untuk baseflow adalah koefisien *recession constan*; untuk transformasi unit hidrograpnya parameter yang diestimasi adalah koefisien *storage*. Selanjutnya, proses penelusuran banjir di kali Porong adalah parameter Penyimpanan waktu konstan K dan koefisien x . Proses estimasi parameter model menggunakan kejadian musim hujan yang sesuai karakteristik data hujannya. Simulasi musim hujan menggunakan bulan Januari sampai April yang diperkirakan berdasarkan pengamatan *inflow* dan *outflow* hidrograf.

3.4. Proses Evaluasi Model

Keakuratan model ini dievaluasi melalui kalibrasi dan validasi model dengan menganalisis sensitifitas parameter yang digunakan. Analisis sensitivitas model dilakukan untuk menentukan parameter penting yang tepat untuk membuat prediksi debit yang akurat pada DAS. Proses pemodelan diawali dengan memasukan input data awal untuk menjalankan model yang kemudian di cek terhadap output yang tersedia. Selanjutnya diikuti dengan memvariasikan input setiap parameter dengan mempertahankan yang lain konstan. Nilai-nilai luaran dianalisis untuk menentukan variasi parameter yang sesuai untuk di cek ukuran sensitivitasnya. Model ini dikalibrasi berdasarkan parameter sensitif dan diidentifikasi untuk meningkatkan kesesuaian antara hasil simulasi dan data pengamatan. Prosedur kalibrasi secara otomatis di HEC - HMS menggunakan metode iteratif untuk meminimalkan fungsi tujuan, seperti jumlah sisa absolut, jumlah dari sisa kuadrat, pembobotan tinggi puncak *root mean square error* dll (HEC 2000). Dengan demikian, kedua metode kalibrasi manual dan otomatis yang digunakan untuk penelitian ini.

Kriteria untuk mengetahui kinerja model akan dievaluasi seperti yang dilakukan oleh Technical Reference Manual HEC-HMS (2000) dan Roy et al, (2013). Tiga kriteria yang digunakan meliputi: *Peak-weighted root mean square error (PW-RMSE)*, prosentase kesalahan simulasi debit puncak (EPF), dan perbedaan waktu mencapai debit puncak antara nilai pengamatan terhadap hasil simulasi model (ETP).

$$PW-RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \left[\sum_{i=1}^n (Q_{oi} - Q_{si})^2 \left(\frac{Q_{oi} + Q_o}{2Q_o} \right) \right]} \quad (9)$$

$$EPF = \frac{(Q_{po} - Q_{pc})}{Q_{po}} \times 100 \quad (10)$$

$$ETP = \frac{(T_{po} - T_{pc})}{T_{po}} \times 100 \quad (11)$$

Sedangkan kalibrasi dan validasi model dilakukan berdasarkan metode yang digunakan oleh Ibbitt dan O'Dannell, (1971) dan Nash - Sutcliffe (1970). Nilai NOF digunakan untuk menilai normalisasi fungsi tujuan dengan rumus persamaan (12). Nilai NASH digunakan untuk menilai efisiensi model yang dihasilkan (*EEF*) seperti persamaan (13). Persamaan untuk masing masing metode evaluasi ini adalah sebagai berikut.

$$NOF = \frac{1}{\bar{Q}_o} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_{oi} - Q_{si})^2} \quad (12)$$

$$EEF = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{oi} - \bar{Q}_o)^2 - \sum_{i=1}^n (Q_{oi} - Q_{si})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{oi} - \bar{Q}_o)^2} \quad (13)$$

Dimana Q_{po} adalah debit puncak pengamatan (m^3/det); Q_{pc} adalah debit puncak simulasi (m^3/det); T_{po} adalah waktu mencapai debit puncak pengamatan (jam); T_{pc} adalah waktu mencapai debit puncak simulasi (jam); Q_{oi} adalah debit pengamatan (m^3/det); \bar{Q}_o adalah debit pengamatan rata-rata (m^3/det); dan Q_{si} adalah debit hasil simulasi (m^3/det). Jika total debit pengamatan adalah sama dengan debit hasil simulasi, maka nilai *EFF* sama dengan 1.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

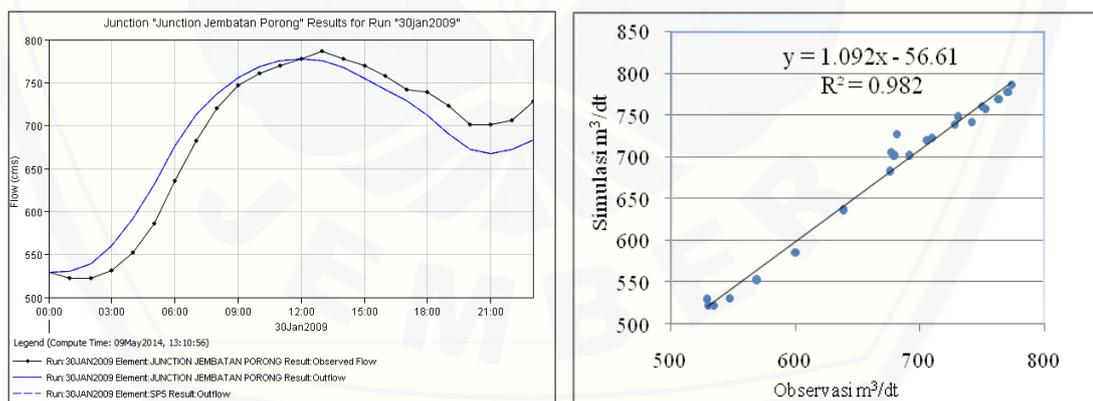
4.1. Kalibrasi Model

Model hidrologi ini dikalibrasi menggunakan data debit pengamatan di jembatan Porong yang merupakan *outflow* terakhir dari 3 *inflow* yaitu dari Dam Lengkung, kali Sedar dan kali Kambang pada Gambar 1. Berdasarkan hasil evaluasi kuantitatif kinerja model hidrologi untuk kejadian tanggal 30/1/2009 yang dioptimasi berdasarkan ke 3 fungsi tujuan pada Tabel 1, nilai NOF dan EEF tertinggi hasil kalibrasi adalah 0,111 dan 0,97 dengan fungsi tujuan *PW-RMSE*. Selanjutnya fungsi tujuan ETP menduduki urutan kedua dengan nilai NOF dan EEF sebesar 0,123 dan 0,964, dan urutan yang terakhir adalah fungsi tujuan EPF dengan nilai NOF dan EEF sebesar 0,111 dan 0,97. Ketiga kinerja model ini menunjukkan adanya kesesuaian yang bagus antara hasil simulasi pemodelan hidrologi dengan data pengamatan. Parameter yang telah dikalibrasi terbagus hasil optimasi dengan fungsi tujuan *PW-RMSE* pada kejadian ini kemudian digunakan untuk melakukan validasi pemodelan hidrologi selanjutnya.

Tabel1. Nilai NOF dan EEF pada proses kalibrasi

Tanggal kejadian	Proses	Fungsi Tujuan	NOF	EEF
30/01/2009	Kalibrasi	<i>PW-RMSE</i>	0,111	0,97
		EPF	0,179	0,917
		ETP	0,123	0,964

Perbandingan antara hidrograf hasil simulasi dengan pengamatan di Jembatan Porong ditampilkan dalam hidrograf dan scatter plot yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar. 2. Hidrograf banjir dan scatter plot hasil simulasi dengan observasi 30/01/2009

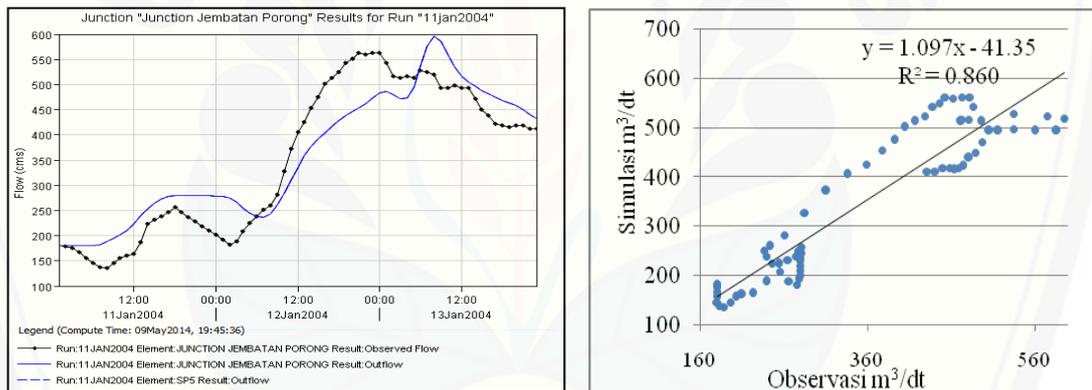
4.2. Validasi Model

Nilai rata-rata untuk NOF lokasi pemantauan adalah 0,176, nilai rata-rata EEF adalah 0.918 dan nilai koefisien korelasi rata-rata adalah 0,918, menunjukkan kesesuaian yang baik antara hidrograf hasil simulasi dengan pengamatan. Nilai NOF tertinggi sebesar 0,991, EEF terendah adalah 0,135 dan koefisien korelasi tertinggi 0,994 karena variasi

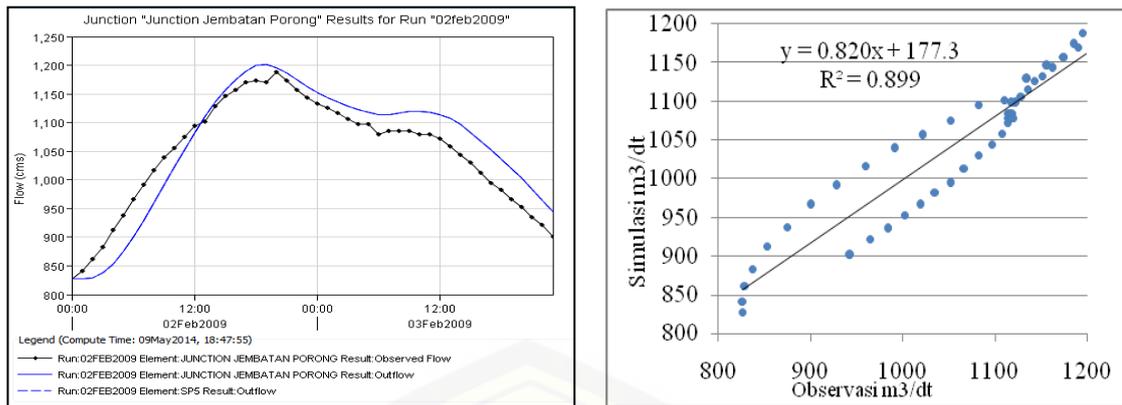
yang signifikan dalam pengukuran arus Gambar. 3 yang dapat dikaitkan dengan berbagai faktor misalnya, perubahan suhu diurnal dan kelembaban dan adanya intervensi inflow dari DAM Lengkung. Secara keseluruhan, hidrograf simulasi mencerminkan tren yang dominan dengan variasi pengamatan data debit lapangan (Gambar. 3, 4 dan 5). Pemodelan hidrologi menunjukkan bahwa pola hidrograf hampir menyerupai hidrograf pengamatan berarti struktur model ini sesuai untuk sistim sungai kali Porong, tetapi ada sedikit perbedaan untuk tinggi debit puncak. Kondisi pemodelan yang paling buruk adalah untuk validasi tahun 2004 hal ini dimungkinkan ada perbedaan tren aliran yang sangat signifikan. Persentase rata-rata keseluruhan volume air yang berasal dari DAM Lengkung sebesar 90%, berasal dari sub DAS Sedar sebesar 8%, sedangkan yang berasal dari sub DAS Kambeng sebesar 2%.

Tabel 2. Hasil Validasi Model

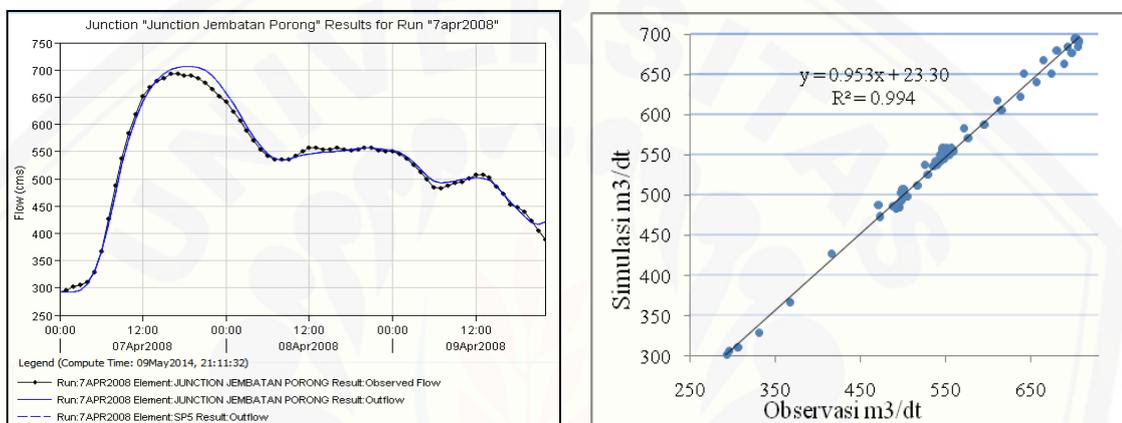
Tanggal kejadian	NOF	EEF	Koef. determinasi pearson
11/01/2004	0,135	0,853	0,860
07/04/2008	0,139	0,991	0,994
02/02/2009	0,254	0,839	0,899



Gambar 3. Hidrograf banjir dan scatter plot hasil simulasi dengan observasi 11/01/2004



Gambar 4. Hidrograf banjir dan scatter plot hasil simulasi dengan observasi 07/04/2008



Gambar 5. Hidrograf banjir dan scatter plot hasil simulasi dengan observasi 02/02/2009

4.3. Sensitifitas Analisis

Sensitifitas analisis hasil optimasi ke tiga fungsi tujuan menunjukkan bahwa, parameter *Recession Constant* dari *baseflow* di kali Sedar dan kali Kambang merupakan parameter yang paling sensitif. Hal ini ditunjukkan oleh nilai fungsi tujuannya memiliki nilai error yang paling besar dibandingkan parameter lainnya. Hal ini dikarenakan tidak tersedianya data pengukuran debit di kali Sedar dan kali Kambang dimana penentuan debit awal hanya didasarkan pada proporsi luasan dari kedua sub-DAS. Selain itu ketersediaan data hujan yang hanya diwakili oleh 1 stasiun pengukuran hujan di Tampung menjadi tidak dapat menggambarkan kejadian hujan yang tidak merata. Saran selanjutnya adalah akan lebih baik jika setiap sub-DAS dipasang alat ukur hujan otomatis.

Parameter sensitif selanjutnya adalah nilai K untuk penelusuran banjir di kali Porong pada SP1, SP3 dan SP5 dengan optimasi fungsi tujuan EPF. Hal ini terjadi dimungkinkan adanya variasi debit dan kecepatan aliran di saluran. Variasi debit ini dikarenakan adanya intervensi inflow dari DAM Lengkong.

5. KESIMPULAN

Bentuk hidrograf pemodelan hujan aliran untuk kalibrasi dan validasi memiliki pola yang mirip antara observasi dengan simulasi hanya ada sedikit perbedaan mengenai posisi debit puncaknya.

Hasil running menunjukkan bahwa kalibrasi model lebih bagus dari rata-rata validasinya dengan nilai koefisien determinasi pearson 0,982 dan 0,918. Nilai ini menunjukkan bahwa model memenuhi syarat dan memiliki kesesuaian yang bagus.

Hasil simulasi model menunjukkan proporsi volume pada *outflow* Jembatan Porong dari *inflow* DAM Lengkong, Kali Sedar, dan Kali Kambang secara berturut turut sebesar 90%, 8%, dan 2 %.

6. Daftar Pustaka

1. Arekhi S., (2012) *Runoff modeling by HEC-HMS Model* (Case Study:Kan watershed, Iran)International Journal of Agriculture and Crop Sciences.__Available online at www.ijagcs.comIJACS/2012/4-23/1807-1811, ISSN 2227-670X ©2012 IJACS Journal
2. Chu, H. J. dan Chang, L. C., (2009) *Applying particle swarm optimization to parameter estimation of the nonlinear Muskingum model*, J. Hydrol. Eng., 14, 1024–1027, 2009.
3. Clark, C. O. _1945_. “*Storage and the unit hydrograph.*” Trans. Am. Soc.Civ. Eng., 110_2261_, 1419–1446
4. Hydrologic Modeling System HEC-HMS. Technical Refrence Manual, (2000). US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, 609 Second Street, Davis, CA 95616-4687 USA.
5. Ibbitt, R. P., and O’Donnell, T., (1971). “*Fitting methods for conceptual catchment models.*” J. Hydr. Div., 97(9), 1331–1342
6. Kaffas K. dan Hrissanthou V., (2014) *Application Of A Continuous Rainfall-Runoff Model To The Basin Of Kosynthos River Using The Hydrologic Software HEC-HMS*, Global NEST Journal, Vol 16, No 1, pp 188-203, 2014 Copyright© 2014 Global NEST Printed in Greece. All rights reserved
7. MaidmentD. R., (1992) *Handbook of hydrology*, Editor in Chief, Mc Graw-Hill, Inc.
8. Miroslav B., Michaela D., and Ján S.,(2010), *On the use of the Muskingum method for the simulation of flood wave*
9. Elbashir S., (2011) *Flood Routing in Natural Channels Using Muskingum Methods*. Dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the Dublin Institute of Technology’s Master of Engineering Computation.2011.
10. Nash, J. E., and Sutcliffe, J. V., (1970). “*River flow forecasting through conceptual models. Part I—A discussion of principles.*” J. Hydrol., 10_3_, 282–290.
11. Roy D., Begam S., Ghosh S. dan Jana S., (2013) *Calibration And Validation Of Hec-Hms Model For A River Basin In Eastern India*, Arpn Journal Of Engineering And Applied Sciences , Vol. 8, No. 1, January 2013 Issn 1819-6608
12. Song X. M, Kong F. Z, dan Zhu Z. X.,(2011), *Application of Muskingum routing method with variable parameters in ungauged basin* Water Science and Engineering, 2011, 4(1): 1-12.doi:10.3882/j.issn.1674-370.2011.01.001. <http://www.waterjournal.cnemail:wse2008@vip.163.com>

13. USDA. (1986). "Urban Hydrology for Small Watersheds." *Technical Release 55 (TR-55)*, Natural Resources Conservation Services, Washington, D.C.

