

PERBANDINGAN APLIKASI IHACRES DAN HEC_HMS UNTUK PERAMALAN BANJIR DI DAS SAMPEAN BARU

Entin Hidayah^{1*}, Wiwik Yunarni¹, dan Indarto²

¹Jurusan Teknik Sipil, Universitas Jember

²Prodi Toknologo Pertanian, Universitas Jember

*entin_hidayah@yahoo.com

Intisari

Curah hujan dengan intensitas tinggi dalam waktu singkat akan menyebabkan level muka air di waduk meningkat. Kenaikan permukaan air secara tiba-tiba akan membahayakan struktur bendungan. Jika kelebihan air di waduk dalam skala besar dilimpaskan dalam waktu singkat, maka bahaya banjir akan mengancam wilayah bagian hilir bendung seperti sungai, bangunan air, maupun kota Situbondo. Keterbatasan data merupakan masalah yang harus diselesaikan dalam memodelkan hujan menjadi aliran yang presisi. Tujuan dari paper ini adalah untuk membandingkan struktur model sederhana dari kinerja IHACRES dengan HEC-HMS guna mendapatkan parameter model hidrologi yang terbaik sebagai peramalan banjir dalam rangka menjaga keamanan waduk. Data hujan yang digunakan adalah data hujan per jam series dari tahun 2004-2008. Proses pemodelan dilakukan dengan kalibrasi untuk mendapatkan parameter terbaik. Dari hasil runing kedua model hidrologi tersebut, IHACRES memiliki kinerja lebih bagus dibandingkan HEC-HMS dalam mengestimasi parameter model dengan nilai koefisien korelasinya secara berturut turut 0,66 dan 0,56. Kedua model mampu memberikan gambaran pola hidrograf yang sesuai, tetapi masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan.

Kata Kunci: parsimony pemodelan hidrologi, IHACRES, HEC-HMS, keterbatasan data.

PENDAHULUAN

Estimasi aliran sungai yang akurat sangat penting untuk desain struktur bangunan air, pengendalian banjir di waduk, manajemen dan perencanaan sumber daya air, pengendalian pencemaran, dan konservasi di waduk sampean Baru. Untuk mendapatkan model hujan aliran yang akurat dengan keterbatasan data tidaklah mudah dalam memidulkan hidrologi, oleh karena itu pemilihan struktur model yang tepat yang mampu mengakomodasi keterbatasan data menjadi penting.

Kesulitan utama dalam memprediksi hidrologi DAS yang keterbatasan data adalah bahwa pada kenyataan respon DAS secara unik diatur oleh hubungan antara iklim, topografi, geologi, dan tata guna lahan. Salah satu pendekatan adalah dengan menggunakan informasi dari model yang diperoleh di lokasi pengukuran

sebagai dasar untuk pemodelan tersebut didasarkan pada atribut DAS. Hubungan statistik antara parameter model yang dikalibrasi dengan karakteristik DAS dapat menangkap informasi tentang proses hidrologi yang pada DAS untuk mengembangkan sistem klasifikasi guna untuk mengurangi ketidakpastian prediksi yang tidak memiliki data.

Berbagai model hidrologi dengan berbagai kelebihan telah diaplikasikan untuk mengatasi berbagai permasalahan dan keterbatasan yang didapat dalam suatu DAS. Model IHACRES yang mampu memodelkan untuk keterbatasan data dan parameter yang digunakan sangat simpel oleh McIntyre dan Aisha (2009) diaplikasikan di Oman dan oleh Croke et. al (2006) di Australia. Model lain yaitu HEC-HMS juga telah banyak sukses diaplikasikan di berbagai negara. Model ini didefinisikan secara sederhana yang mewakili kenyataan fenomena alam (Gautam D.K, 2013). Namun demikian, belum tentu setiap model tersebut mempunyai kecocokan dengan karakteristik suatu DAS. Pada penelitian ini akan membandingkan IHACRES dan HEC HMS untuk estimasi parameter model hujan aliran guna peramalan banjir di Sampean Baru.

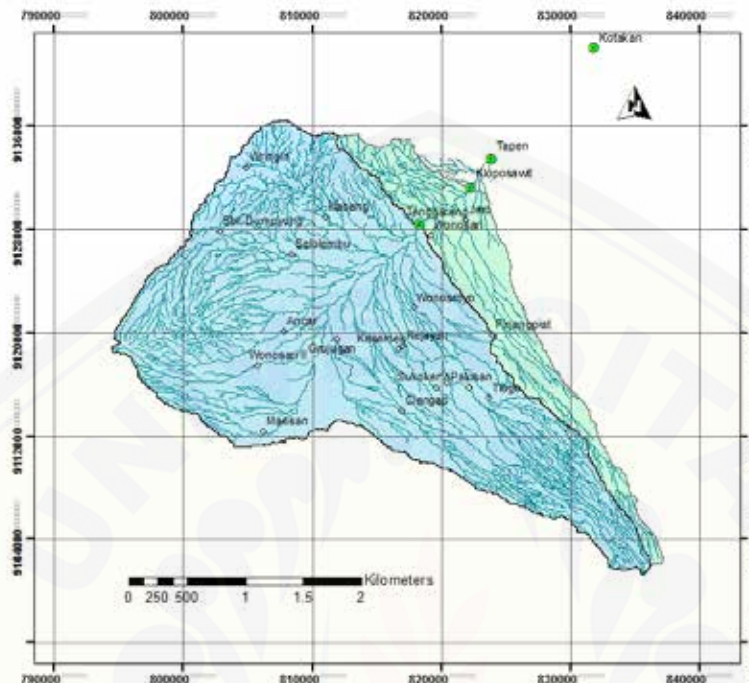
LOKASI WILAYAH STUDI

DAS Sampean Baru (Gambar 1.) merupakan DAS lintas antara Kabupaten Bondowoso dan Situbondo. DAS ini didalamnya terdapat waduk multi-fungsi untuk irigasi, dan pembangkit listrik. Sungai yang mensuplai waduk ini dinamakan sungai Sampean. Sungai ini merupakan sungai epemeral, dimana pada musim hujan debit airnya tinggi sedangkan pada saat tidak hujan debitnya rendah. Sistem monitoring hidrometeorologi di DAS ini dibagi menjadi beberapa lokasi penempatan. Alat ukur debit otomatis diletakan di outlet Tenggarang (bagian hulu), dan Wonosari di bagian hilirnya dengan luas tangkapan masing-masing adalah 595,16 km², dan 714,97 km² km². Terdapat 3 alat ukur hujan otomatis yang terletak di bagian hilir yaitu Maesan, Tlogo, dan Sentral. Dan terdapat 17 alat ukur hujan manual (skala harian) yang berpengaruh. Posisi alat ukur hujan dan alat ukur debit dapat dilihat pada gambar 1 yang terletak di koordinat ini adalah 9.136.000 - 9104.000.N dan 790.000-840.000 E dalam UTM.

KONSEP MODEL HEC-HMS

HEC-HMS adalah model berbasis fisik mampu mensimulasikan kejadian hujan menjadi limpasan untuk hidrograf tunggal maupun series dari berbagai penggunaan lahan dan jenis tanah, menggabungkan hidrograf sub-basin, dan routing aliran melalui fasilitas penyimpanan dan pengangkutan. Model ini dibangun dengan memisahkan siklus hidrologi menjadi beberapa bagian pengaturan dan membangun batas-batas di sekitar DAS sesuai keinginan pemodelan. Setiap bagian pengaturan dari siklus hidrologi kemudian dapat diwakili dengan model matematika, misalnya: *baseflow*, limpasan pada DAS, dan penelurusan banjir pada saluran. Setiap model matematika yang tersedia dalam program ini dapat dipilih sesuai kondisi DAS dan kesesuaian pemodelannya. Penentuan pilihan metode yang tepat membutuhkan

pengetahuan tentang daerah aliran sungai, tujuan dari studi hidrologi dan rekayasa yang dibutuhkan (USACE, 2008).



Gambar 1. DAS Sampean Baru

Berbagai macam metode yang tersedia untuk mensimulasikan kehilangan akibat infiltrasi. Pilihan untuk pemodelan ini berupa: konstanta awal, SCS-CN, *gridded* SCS-CN, eksponensial, Green Ampt, dan Smith Parlange. Satu metode konstan deficit-layer dapat digunakan untuk pemodelan kontinyu sederhana. Metode perhitungan lima layer-kelembaban tanah digunakan untuk pemodelan kontinyu pada kondisi infiltrasi dan evapotranspirasi kompleks. Metode grid tersedia untuk perhitungan konstan defisit dan kelembaban tanah (Chen et al, 2009. USACE, 2008).

Tujuh metode hidrograf satuan untuk mentransformasi curah hujan menjadi limpasan dengan pilihan antara lain: Clark, Snyder dan teknik SCS. *User-specified* unit hidrograf atau koordinat kurva-S dapat juga digunakan. Modifikasi metode Clark (ModClark) adalah metode kuasi-distribusi linear unit hidrograf dapat digunakan dengan data meteorologi *grid*. Sebuah implementasi dari metode gelombang kinematik dengan multi-tempat dan saluran juga termasuk (Knebl et al, 2004; USACE, 2008).

Lima metode untuk mewakili kontribusi aliran dasar pada untuk outflow sub-DAS. Metode resesi memberikan aliran dasar yang menurun secara eksponensial dari kejadian tunggal tunggal atau beberapa kejadian yang berurutan. Metode bulanan konstan baik digunakan untuk simulasi secara kontinyu. Metode penelusuran banjir dengan routing curah hujan yang masuk ke saluran tersebut. Seluruhnya terdapat

enam metode routing hidrologi yang disertakan untuk simulasi aliran pada saluran terbuka. Routing tanpa intervensi dapat dimodelkan dengan metode lag. Metode Muskingum tradisional disertakan bersama dengan metode straddle stagger untuk pendekatan sederhana. Metode modifikasi plus dapat digunakan untuk model sebuah saluran sebagai series cascading, jumlah tampungan dengan hubungan storage-discharge yang ditentukan pengguna. Saluran dengan bentuk penampang trapesium, persegi panjang, traingular, atau lingkaran dapat dimodelkan dengan gelombang kinematik atau metode Muskingum-Cunge. Saluran yang memiliki bantaran sungai dapat dimodelkan dengan metode Muskingum-Cunge dan penampang untuk 8 titik. Selain itu, kehilangan pada saluran dapat juga dimasukkan dalam routing. Metode kehilangan konstan dapat ditambahkan ke metode routing, sementara metode perkolasi dapat digunakan hanya dengan modifikasi Plus atau metode Muskingum-Cunge (USACE, 2008).

KONSEP MODEL IHACRES

IHACRES (Identification of Hydrographs and Components from Rainfall, Evaporation and Stream) merupakan model konsep *lump* yang mampu untuk memprediksi waktu dan besar debit puncak serta volume limpasan untuk skala DAS. Model hujan aliran ini diterapkan dan dikalibrasi pada sub-DAS yang diwakili oleh titik outletnya. Model ini relatif sederhana, karena hanya membutuhkan data-data masukan seperti data debit, data curah hujan, data temperatur dan luasan DAS serta sedikit parameter yang memfasilitasi regionalisasi untuk mensimulasikan aliran pada node yang tidak tersedia alat ukur debit (Croke et al, 2006). Proses hidrologi ini dalam konsep IHACRES disederhanakan sebagai berikut: ciri-ciri fisik DAS digambarkan dengan konsep yang relevan pada 2 modul. Pertama, modul kehilangan pada non-linier dihubungkan dengan variabel data pengamatan hujan dan temperatur (r_k dan T_k) untuk menghitung hujan efektif (μ_k) seperti persamaan (1) dalam Ye et al. (1997) dengan parameter *mass balance* (C), index kelembaban tanah (l) untuk menghasilkan aliran, dan *non-linear response term* (p). Parameter l dan p secara tipikal hanya digunakan untuk sungai ephemeral (Carcano et al., 2008).

$$\mu_k = [C(\phi_k - l)]^p r_k \dots\dots\dots (1)$$

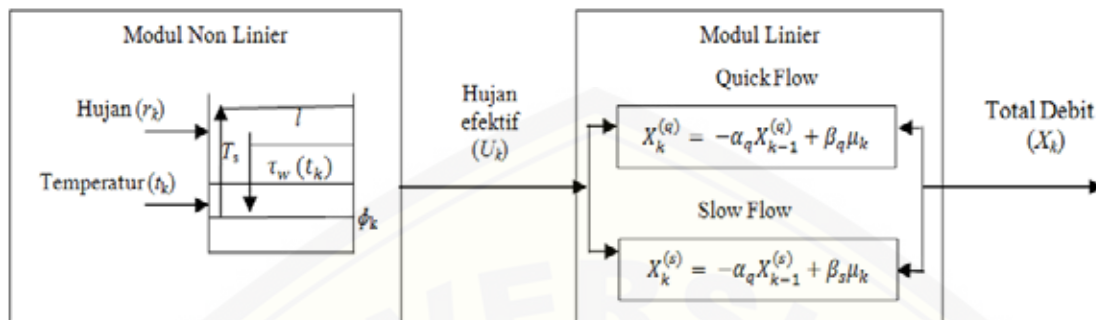
Fungsi kelembaban tanah (ϕ_k) digambarkan oleh persamaan (2) yang disusun berdasarkan parameter *drying rate* (τ_k) yang ditentukan berdasarkan persamaan (3).

$$\phi_k = r_k + \left(1 - \frac{1}{\tau_k}\right) \phi_{k-1} \dots\dots\dots (2)$$

$$\tau_k = \tau_w e^{-(0,062f (tr-tk))} \dots\dots\dots (3)$$

Dimana t_k adalah suhu pengamatan ($^{\circ}C$), adalah drying rate at reference temperature ($^{\circ}C$) dipengaruhi oleh variasi soil drainage dan rata-rata infiltrasi, dan f adalah modulasi temperatur ($^{\circ}C^{-1}$) yang berhubungan dengan variasi evaporasi berdasarkan

musim yang dipengaruhi oleh iklim, tata guna lahan dan tutupan lahan, dan t_r adalah temperatur reference ($^{\circ}\text{C}$) yang disusun berdasarkan temperatur setempat. Struktur model ini oleh Evan dan Jakeman (1998) ditunjukkan dalam gambar 2.



Gambar. 2. Algoritma model IHACRES (Evans and Jakeman, 1998)

Kedua, modul linier ini merupakan metode menentukan hujan efektif melalui berbagai konfigurasi dan tampungan paralel dan/atau series yang diidentifikasi dari data hujan dan aliran secara series tetapi secara tipikal juga hanya berupa tampungan, yang mewakili aliran ephemeral atau dua paralel dari kedua aliran lambat dan cepat (Croke et al., 2005). Modul linear unit hydrograph (UH) yang menghubungkan hujan efektif μ_k terhadap dua komponen series aliran dengan perubahan waktu k , kecuali untuk wilayah semiarid atau aliran ephemeral, menurut Ye et al (1997) 1 komponen biasanya cukup. Dua kombinasi konfigurasi paralel untuk menghasilkan aliran adalah aliran cepat () dan aliran lambat () yang ditunjukkan oleh persamaan (4), (5) dan (6) yang struktur modelnya dapat dilihat pada gambar. 2.

$$X_k = X_k^{(q)} + X_k^{(s)} \dots\dots\dots (4)$$

$$X_k^{(q)} = -\alpha_q X_{k-1}^{(q)} + \beta_q \mu_k \dots\dots\dots (5)$$

$$X_k^{(s)} = -\alpha_s X_{k-1}^{(s)} + \beta_s \mu_k \dots\dots\dots (6)$$

Dimana parameter dan adalah waktu konstan untuk aliran cepat dan dan waktu konstan untuk aliran lambat.

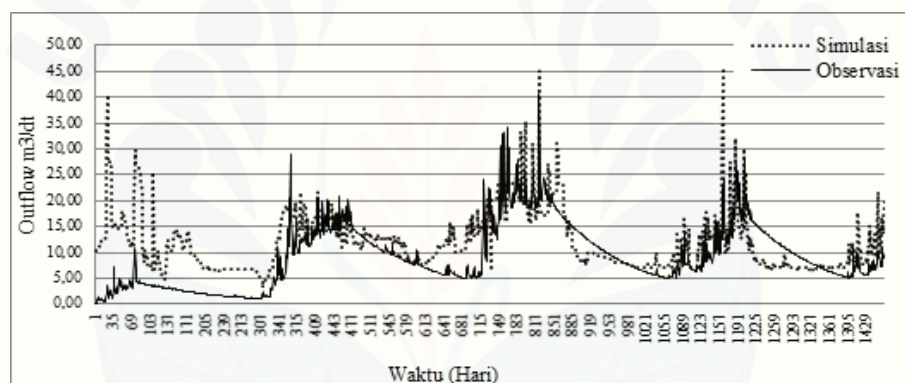
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemodelan ini akan dilakukan dengan menggunakan data skala harian. Kedua model ini membutuhkan data meteorologi dan data fisik DAS. Data meteorologi yang dibutuhkan untuk pemodelan HEC-HMS berupa hujan dan debit, sedangkan untuk pemodelan IHACRES berupa hujan, suhu dan debit. Data yang digunakan untuk pemodelan yaitu series dari periode waktu tahun Januari 2004 sampai dengan Desember 2007. Pemodelan ini akan mengutamakan penggunaan prinsip memilih struktur model yang sederhana dengan data fisilk yang seminimal mungkin. Oleh karen itu, kedua model ini hanya membutuhkan data fisik DAS berupa luas DAS.

Simulasi Pemodelan Ihacres

Hasil kalibrasi model IHACRES, didapatkan nilai parameter untuk modul non-linier yaitu C , t_w , f , t_r , l , dan p secara berturut-turut 0,0069, 7, 4, 20, 0 dan 1. Sedangkan untuk modul non-linier instrumen variabel yang sesuai pola alirannya yang digunakan adalah 2 *ekponensial stores in pararel* (2,1) dengan parameter model τ_1 , τ_2 , τ_3 , dan τ_4 yang secara berturut-turut nilainya -0,993, -0,205, 0,006, 0,085, 152,68, 0,630, 0,893, 0,107. Berdasarkan hasil pemodelan modul non-linier parameter t_w , C dan f signifikan sensitif terhadap efek langsung dari volume hidrograf debit puncak seperti yang dilakukan oleh Taesombat dan Sriwongsitanon (2010). Sedangkan parameter $(T(s), T(q)$ dan $V(s))$ mempunyai efek terhadap puncak hidrograf, tetapi bukan pada volumenya.

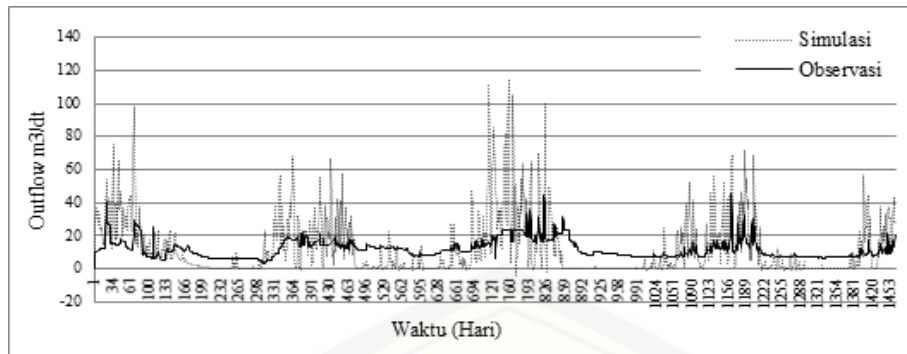
Berdasarkan gambar 3 pola aliran sudah menunjukkan ada kesesuaian dimana jika terjadi hujan, model sudah mampu menghasilkan respon debit walaupun tidak presisi betul. Namun demikian, *baseflow* yang dihasilkan masih lebih rendah dari kondisi observasinya.



Gambar. 3. Hidrograf banjir hasil simulasi dan kalibrasi model IHACRES

Simulasi Pemodelan Hec-Hms

Struktur model sederhana yang dibangun untuk pemodelan hujan aliran dengan HEC HMS di DAS Klapa Sawit ini untuk *baseflow* menggunakan *bounded recession*, transformasi hujan menjadi aliran menggunakan metode unit hidrograf Clark dan proses penelusuran banjir pada sungai menggunakan Muskingum. Hasil optimasi model HEC-HMS dengan dengan objective fuction PW-RMSE didapatkan nilai parameter Recession Constant untuk *baseflow* sebesar 0.96, Clark Time of Concentration untuk unit hidrografnya sebesar 0,2397 jam, dan X dan K untuk penelusuran banjir secara berturut turut sebesar 5.0625 jam dan 0.092. Parameter yang paling sensitif adalah *recession constant* untuk *baseflow* karena adanya flutuasi debit yang cukup tinggi seperti tampak pada gambar 4.



Gambar. 4. Hidrograf banjir hasil simulasi dan kalibrasi model HEC-HMS

Hasil pemodelan gambar 4 menunjukkan bahwa pola respon debit dan *baseflow* hasil simulasi model sudah ada kesesuaian tetapi jika terjadi hujan respon debit yang dihasilkan over-estimate. Hal ini disebabkan oleh hujan yang terjadi diasumsikan melimpas menjadi *surface runoff* seluruhnya. Dengan data yang minimal (keterbatasan data karakteristik tanah) menyebabkan model ini belum mampu memberikan respon debit yang terjadi sesuai dengan kondisi aslinya. Tetapi untuk *baseflow*-nya sudah mampu menggambarkan kondisi data pengamatannya.

EVALUASI PERBANDINGAN MODEL

Hasil evaluasi kedua model dengan menunjukkan bahwa:

1. Penyusunan struktur model HEC-HMS relatif lebih rumit jika dibandingkan IHACRES, karena membutuhkan beberapa model serta parameter yang sesuai untuk menyusun strukturnya.
2. Estimasi parameter model IHACRES secara random membutuhkan waktu coba-coba yang cukup lama untuk mendapatkan hasil error kecil. Sedangkan estimasi parameter model HEC-HMS relative lebih singkat karena tersedia komponen untuk melakukan optimasi secara otomatis.
3. Perbandingan debit antara data observasi dan hasil simulasi yang dievaluasi berdasarkan error yang dihasilkan dari perhitungan nilai koefisien korelasi R menggunakan model HEC HMS yang dihasilkan sebesar 0.56.
4. Model HEC-HMS lebih mampu menggambarkan kondisi *baseflow* yang sesuai kondisi obserbasi tetapi untuk *peakflow*-nya terjadi overestimasi, sebaliknya model IHACRES mampu menunjukkan *peakflow* tetapi *baseflow*-nya beberapa tahun terjadi under-estimate seperti terlihat pada gambar 4 dan gambar 5.

Berdasarkan perbandingan simulasi ke dua model ini menunjukkan bahwa masing-masing model mempunyai kelebihan dan kekurangan. Dalam pemodelan hujan aliran untuk data series, IHACRES lebih cocok digunakan untuk lokasi yang memiliki keterbatasan data, sedangkan jika untuk lokasi yang memiliki data lengkap dengan HEC-HMS akan lebih sesuai.

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa IHACRES lebih andal untuk mengestimasi hidrograp banjir untuk kondisi sungai epemeral yang memiliki keterbatasan ketersediaan data. Hubungan model yang diusulkan terbukti praktis untuk memprakirakan parameter model dalam DAS yang memiliki keterbatasan data. Oleh karena itu, metodologi yang dilakukan dalam makalah penelitian ini dapat digunakan sebagai pedoman dalam merumuskan hubungan antara model yang memiliki parameter dan atribut DAS di lokasi lain di sepeti di Indonesia.

UCAPAN TERIMA KASIH

Atas selesainya paper ini kami ucapkan terima kasih kepada UPT PSAW Sampean Baru yang telah mensupot data guna proses pemodelan dan HATHI yang telah mempublikasikan.

REFERENSI

- Carcano, E.C., P. Bartolini, M. Muselli and L. Piroddi. 2008. *Jordan recurrent neural network versus IHACRES in modelling daily streamflows*. J. Hydrol. 362: 291–307
- Chen, Y., Xu, Y., and Yin, Y. (2009). “*Impact of land use change scenarios on storm-runoff generation in Xitiaoxi basin, China.*” Quaternary International, 1: 1-8.
- Croke B W, Anderson F, Jackeman A J., 2005. *Re-design of the IHACRES rainfall-runoff model*. Engineers Australia. 29th Hydrology and Water Resources Symposium, 21-23 February, Camberra, Australia
- Croke B. F. W, Letcher R. A., Jackeman A. J., 2006. *Development of a distributed flow model for underpinning assessment of water allocation options in the Namoi River Basin, Australia*, Journal of Hydrology Volume 319, Issues 1–4, 15 March 2006, Pages 51–71
- Gautam D. K., (2013), *Hydrological Modeling for Upper Chao Phraya Basin Using HEC-HMS*, UNDP/ADAPT Asia-Pacific First Regional Training Workshop Assessing Costs and Benefits of Adaptation: Methods and Data March 11-14, 2013, www.undp-alm.org/sites/default/files/downloads/chaophraya_final.ppt
- McIntyre N. dan Aisha A, (2009), *Performance of ten rainfall-runoff models applied to an arid catchment in Oman*, *Environmental Modelling & Software*, Volume 24 Issue 6, June, 2009, Pages 726-738.
- Taesombat W, Sriwongsitanon N. (2010). *Flood investigation in the upper Ping River Basin using mathematical models*. Kasetsart Journal (Natural Science), 44: 152–166.
- USACE, United States Army Corps of Engineers. (2008). “*Hydrological Modeling System, HEC-HMS, User’s Manual, Version 3.3*”, USACE, Davis, CA, USA.
- Ye, W., B.C. Bates, N.R. Viney, M. Sivapalan and A.J. Jakeman. 1997. *Performance of conceptual rainfall-runoff models in lowyielding ephemeral catchments*. Water Resour. Res. 33: 153–166.