



Perbandingan Metode SCS UH dan Clark UH dalam Pemodelan Hujan Aliran pada DAS¹

Comparison of SCS UH and Clark Methods for Rainfall-Runoff Model in Deluwang Watershed

Muhammad Arifin^a, Entin Hidayah^b, Wiwik Yunarni Widiarti^{b,2}

^a Program Studi S1 Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember, Jl. Kalimantan 37 Jember

^b Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember, Jl. Kalimantan 37 Jember

ABSTRAK

Sungai Deluwang sumber airnya banyak dimanfaatkan untuk kebutuhan irigasi, perkebunan, serta pemenuhan kehidupan rumah tangga. Mengingat pentingnya peranan air pada DAS Deluwang, maka perlu dilakukannya pengelolaan DAS. Pengelolaan DAS yang tepat membutuhkan pemodelan hidrologi yang akurat. Pemodelan hujan aliran menggunakan aplikasi HEC-HMS. Penelitian ini bertujuan membandingkan 2 metode yang terdapat pada *direct runoff*. Oleh karena itu penelitian ini menggunakan dua metode, yaitu metode *SCS Unit Hydrograph* dan metode *Clark Unit Hydrograph*. Pada proses kalibrasi menggunakan data curah hujan harian dan debit harian tahun 2006, sedangkan pada proses validasi menggunakan data curah hujan harian dan debit harian tahun 2007 sampai 2012. Hasil kalibrasi menggunakan metode *Clark Unit Hydrograph* lebih bagus dibandingkan menggunakan metode *SCS Unit Hydrograph* dengan nilai Nash 0,700 berbanding 0,539. Sedangkan hasil validasi pemodelan menggunakan metode *Clark Unit Hydrograph* lebih bagus dibandingkan menggunakan metode *SCS Unit Hydrograph* dengan nilai Nash 0,541 berbanding 0,368.

Kata kunci: HEC-HMS, Nash, Pengelolaan DAS, Pemodelan hujan aliran.

ABSTRACT

Deluwang River water source is widely used for the needs of irrigation, plantation, and the fulfillment of domestic life. Given the importance of the role of water in Deluwang watershed, then he had to do the management of watershed. The proper management of watershed hydrological modeling requires accurate. Rainfall-runoff using HEC-HMS applications. This research aims to comparison 2 methods in direct runoff. Therefore this study uses two methods, namely SCS Unit Hydrograph method and method of Clark Unit Hydrograph. On the calibration process using daily rainfall data and daily debit year 2006, whereas in the validation process using daily rainfall data and daily debit years 2007 to 2012. The results of the calibration using Clark Unit Hydrograph method better than using SCS Unit Hydrograph method with Nash's value 0,700 than 0,539. While the results of the validation of modeling using Clark Unit Hydrograph method is better than using SCS Unit Hydrograph method with a value of Nash 0,541 than 0,368.

Keywords: HEC-HMS, Nash, Management of DAS, Rainfall-Runoff.

¹ Info Artikel: Received 1 Februari 2018 Received in revised form 27 Februari 2018, Accepted 27 maret 2018

² E-mail: entin.teknik@unej.ac.id (E. Hidayah), wiwikferi@gmail.com (W.Y. Widiarti)

PENDAHULUAN

Air merupakan salah satu kebutuhan utama dalam kehidupan manusia. Oleh karena itu air sering disebut sebagai sumber kehidupan. Sumber mata air yang paling mudah ditemui adalah sungai yang terdapat pada Daerah Aliran Sungai (DAS). DAS Deluwang merupakan DAS yang air sungainya banyak dimanfaatkan untuk pemenuhan kehidupan sehari-hari, sehingga perlu dilakukannya pengelolaan DAS. Untuk melakukan pengelolaan DAS diperlukan pemodelan hujan aliran.

Pemodelan hujan aliran berfungsi untuk membantu memprediksi debit aliran sungai pada suatu DAS dari waktu ke waktu melalui sebuah penyederhanaan. Dalam melakukan pemodelan hujan aliran dibutuhkan beberapa data terutama data hujan harian dan data debit harian. Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Yuliar (2015), menggunakan *software* HEC-HMS dengan menggunakan metode *Initial and Constant rate* pada *volume runoff* dan metode *Clark Unit Hydrograph* pada *direct runoff*. Pemodelan tersebut menghasilkan debit hasil kalibrasi sebesar 646,790 m³/s, sedangkan debit observasi sebesar 647,400 sehingga diperoleh nilai *percent difference* -0,09%. Pada proses validasi pemodelan tersebut menghasilkan debit simulasi sebesar 740,360 m³/s, sedangkan debit observasi sebesar 987,250 m³/s sehingga diperoleh nilai *percent difference* -25,01%.

Pada penelitian ini akan menggunakan 2 metode pada *direct runoff*, yaitu *SCS UH* dan *Clark UH*. Pemilihan kedua metode tersebut dilakukan untuk membandingkan 2 metode yang terdapat pada *direct runoff*. Sehingga akan diperoleh metode terbaik untuk melakukan pemodelan hujan aliran pada DAS Deluwang.. Sedangkan pada *volume runoff* menggunakan metode *Soil Conservation Service (SCS)*. Metode *Soil Conservation Service (SCS)* dipilih karena memiliki nilai kemiripan tertinggi dengan kondisi lapangan. Majidi dan Shahedi (2012), menyatakan bahwa HEC-HMS dapat digunakan untuk melakukan pemodelan hidrologi pada DAS Abnama.

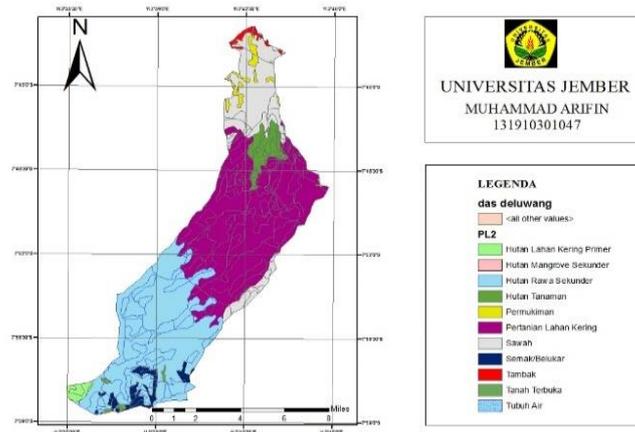
Metode *SCS UH* dan *Clark UH* memiliki sensitivitas parameter yang berbeda. Choudhari dkk. (2014), menyatakan bahwa perlu adanya optimalisasi pada setiap parameter HEC-HMS agar mendapatkan formasi pemodelan yang baik. Karena setiap parameter memiliki sensitivitas yang berbeda, penentuan nilai setiap parameter harus diperhatikan untuk mendapatkan formasi parameter terbaik.

Formasi parameter yang sudah dimasukkan dalam pemodelan HEC-HMS harus diuji menggunakan proses kalibrasi. Proses kalibrasi bertujuan untuk mendapatkan formasi parameter yang paling sesuai dengan *time series data* dan karakteristik DAS. Formasi parameter yang sudah diperoleh dari hasil kalibrasi akan digunakan untuk melakukan proses validasi dengan tujuan untuk mengetahui kesesuaian parameter hasil kalibrasi.

METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian adalah DAS Deluwang yang berada pada koordinat bujur 113°35'30"E-113°45'30"E dan koordinat lintang 7°42'30"S-7°58'30"S. Lokasi penelitian ditunjukkan dalam Gambar 1 dengan kondisi tata guna lahan dibagian hulu DAS 65,35 % hutan rawa sekunder, dibagian tengah DAS 79,06 % pertanian lahan kering, dan dibagian hilir DAS 25,2 % Sawah.



Gambar 1. Peta DAS Deluwang

Data Penelitian

Data yang digunakan adalah data curah hujan harian dari 4 stasiun hujan dan debit harian pada DAS Deluwang dengan periode pencatatan pada tahun 2006-2012. Data curah hujan harian dan debit harian berasal dari UPT Pelayanan Sumber Daya air (PSDA) Bondowoso. Selanjutnya data yang digunakan adalah karakteristik DAS yang berasal dari Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai dan Hutan Lindung (BPDASHL) Brantas Sampean.

Langkah-Langkah Penelitian

Langkah – langkah yang akan digunakan pada penelitian terdiri atas beberapa tahap, yaitu:

- Pengolahan data
Pengolahan data karakteristik fisik DAS menggunakan ArcGis. Data curah hujan wilayah menggunakan *polygon thiessen*.
- Pemodelan HEC-HMS
Penelitian ini menggunakan dua pemodelan HEC-HMS yang akan digunakan untuk membandingkan 2 metode pada HEC HMS. Hal tersebut bertujuan untuk mendapatkan metode dan parameter yang paling sesuai untuk memodelkan hujan aliran pada DAS Deluwang. Perbedaan metode diaplikasikan pada *direct runoff*, dimana terdapat dua metode *direct runoff* yang digunakan, yaitu *SCS Unit Hydrograph* dan *Clark Unit Hydrograph*.
- Proses Kalibrasi
Proses kalibrasi adalah pengecekan hidrograf observasi terhadap hidrograf hasil pemodelan HEC-HMS. Pengecekan dilakukan dengan tujuan agar hasil pemodelan sama atau menyerupai hidrograf terukur, sehingga proses kalibrasi memerlukan debit terukur dan data hujan pada rentang waktu yang sama. Proses kalibrasi dilakukan menggunakan data curah hujan harian dan debit harian pada tahun 2006. Dalam proses kalibrasi ini, diharapkan dapat menentukan nilai parameter yang sesuai dengan karakteristik DAS. Parameter tersebut diisi dengan menggunakan persamaan-persamaan sebagai berikut :

- Persamaan untuk *curve number* (CN) sebagai berikut (*Technical Reference Manual HEC-HMS 2000*):

$$CN = \frac{CN_i \cdot A_i + CN_{i+1} \cdot A_{i+1} + \dots + CN_n \cdot A_n}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (1)$$

dengan *CN* = *curve number*, *A* = luas area yang dipengaruhi oleh tiap stasiun.

2. Persamaan untuk *parameter retensi (S)* sebagai berikut (*Technical Reference Manual HEC-HMS 2000*):

$$S = \frac{25400 - 254CN}{CN} \quad (2)$$

$$Ia = 0,2.S \quad (3)$$

dengan Ia = kehilangan mula-mula (initial abstraction), S = kemampuan penyimpanan maksimum, S = parameter retensi, CN = curve number.

3. Persamaan untuk *Lag time (T_{lag})* sebagai berikut (Mays, 2011):

$$T_c = \frac{100L^{0,8} [S + 1]^{0,7}}{1900y^{0,5}} \quad (4)$$

$$T_{lag} = 0,6T_c \quad (5)$$

dengan T_c = waktu konsentrasi, L = panjang sungai utama (ft), S = retensi maksimum (inchi), $S=1000/CN-10$, y = kemiringan Lereng (%), T_{lag} = perbedaan waktu antara pusat massa dari kelebihan curah hujan dan puncak dari unit hidrograf .

4. Persamaan untuk *Time of Consentration (T_c)* sebagai berikut (Straub *et al.*, 2000):

$$T_c = 1,54L^{0,875} S^{-0,181} \quad (6)$$

dengan T_c = waktu konsentrasi, L = panjang sungai, S = kemiringan sungai.

5. Persamaan untuk *Storage Coefficient (R)* sebagai berikut (Straub *et al.*, 2000)

$$R = 16,4L^{0,342} S^{-0,790} \quad (7)$$

dengan R = storage coeficcient, L = panjang sungai, S = kemiringan sungai.

- d. Validasi

Model dikatakan baik apabila model tersebut memiliki akurasi yang bagus dan memenuhi kriteria dari pemodelan (Hidayah, 2011). Validasi model bertujuan untuk mengetahui tingkat kesesuaian parameter – parameter yang telah dihasilkan dari proses kalibrasi. Proses kalibrasi dilakukan menggunakan data curah hujan harian dan debit harian pada tahun 2007-2012. Uji validasi model ini didasarkan dengan membandingkan debit simulasi dan debit pengukuran menggunakan indek efisiensi (Nash dan Sutcliffe, 1970) seperti berikut:

$$EI = 1 - \frac{\sum_{t=1}^n (Q_o - Q_s)^2}{\sum_{t=1}^n (Q_o - Q_a)^2} \quad (8)$$

dengan EI = indek efisiensi, Q_o = debit pengukuran (observasi), Q_s = debit simulasi (model), Q_a = debit rata – rata pengukuran

Besarnya nilai EI menurut metode Nash dan Sutcliffe terbagi dalam tiga kelompok yaitu:

- Tingkat akurasi rendah jika $EI \leq 0,50$
- Tingkat akurasi sedang jika $0,50 \leq EI \leq 0,70$
- Tingkat akurasi tinggi jika $EI \geq 0,70$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Skematisasi Model

Dalam skematisasi model terdiri atas 1 stasiun hujan, 1 AWLR, dan 9 junction. Skematisasi model ditunjukkan dalam Gambar 2.



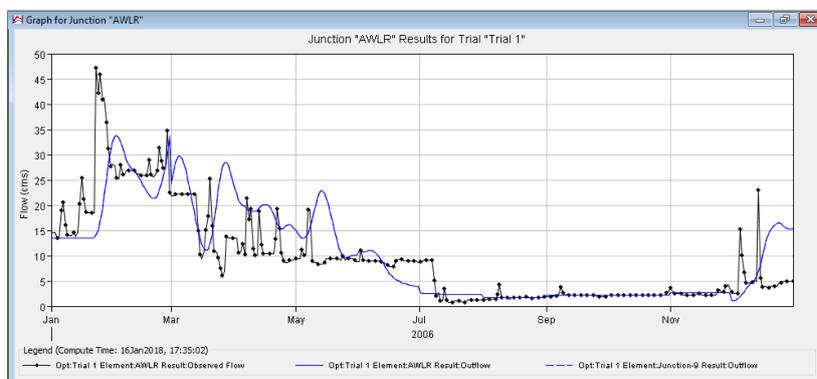
Gambar 2. Penggambaran objek DAS Deluwang

Kalibrasi

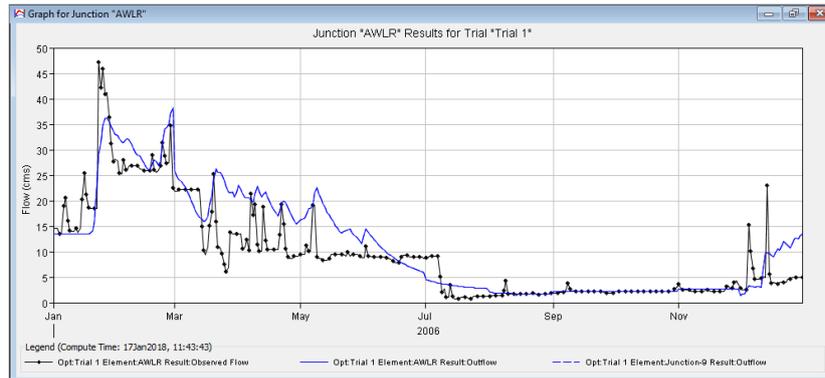
Setelah melakukan *running* model menggunakan parameter hasil perhitungan rumus 1 sampai rumus 7 didapatkan Nash dengan akurasi rendah. Oleh karena itu perlu dilakukan proses kalibrasi. Dari proses kalibrasi model didapatkan nilai parameter terbaik yang dilampirkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan Nilai Parameter Awal dan Parameter Kalibrasi Model Metode *SCS Unit Hydrograph* dan *Clark Unit Hydrograph*

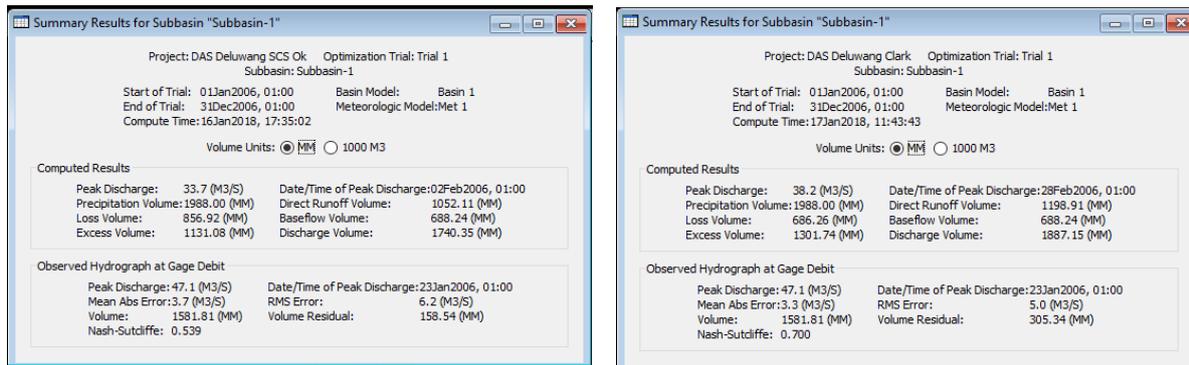
Parameter		Metode <i>SCS UH</i>		Metode <i>Clark UH</i>		Satuan
		Awal	Kalibrasi	Awal	Kalibrasi	
<i>Loss Method</i>	<i>Initial Abstraction</i>	44,29	44,29	44,29	44,29	MM
	<i>Curve Number</i>	53,243	53,243	53,243	53,243	
<i>Direct Runoff</i>	<i>Lag Time</i>	471,67	12567			MIN
	<i>Time of Concentration</i>			1,02	289,45	HR
	<i>Storage Coefficient</i>			9,38	26,236	HR
<i>Canopy</i>	<i>Canopy Initial Storage</i>	42,01	35,911	42,01	35,911	%
	<i>Canopy Max Storage</i>	0,2	465,34	0,2	465,34	MM
<i>Surface</i>	<i>Surface Initial Storage</i>	55,81	30,243	55,81	30,243	%
	<i>Surface Max Storage</i>	0,3	0,001	0,3	0,001	MM
Nilai Nash		-1,019	0,539	-0,515	0,700	



Gambar 3. Hasil Kalibrasi Pemodelan Metode *SCS Unit Hydrograph*



Gambar 4. Hasil Kalibrasi Pemodelan Metode Clark Unit Hydrograph



Gambar 5. Rekapitulasi Hasil Kalibrasi Pemodelan Metode SCS Unit Hydrograph dan Unit Hydrograph

Berdasarkan rekapitulasi hasil kalibrasi pada Tabel 1 dan Gambar 3 sampai Gambar 5 menunjukkan bahwa:

- Nilai Nash pada hasil kalibrasi pada *SCS UH* sebesar 0,539 dengan akurasi sedang. Sedangkan Nilai Nash pada *Clark UH* sebesar 0,700 dengan akurasi tinggi. Sehingga metode *Clark UH* lebih baik dalam menggambarkan pola hujan aliran pada DAS Deluwang dibandingkan dengan metode *SCS UH*.
- Perbedaan metode *SCS UH* dan *Clark UH* terdapat pada *Direct Runoff*. Metode *SCS UH* maupun metode *Clark UH* hasil perhitungan teori pada parameter *Lag Time*, *Time of Concentration*, dan *Storage Coefficient* lebih singkat dibandingkan hasil kalibrasi dengan durasi 12567 menit, 289,45 jam, dan 26,236 jam berbanding 471,67 menit, 1,02 jam, dan 9,38.
- Pada metode *SCS UH* dan metode *Clark UH* prosentase *canopy initial storage* hasil kalibrasi lebih kecil dibandingkan hasil perhitungan teori dengan nilai 35,911 % berbanding 42,01 %. Sedangkan prosentase *canopy max storage* kalibrasi lebih besar dibandingkan hasil perhitungan teori dengan nilai 465,34 mm berbanding 0,2 mm.
- Pada metode *SCS UH* dan metode *Clark UH* prosentase *surface initial storage* hasil kalibrasi lebih kecil dibandingkan hasil perhitungan teori dengan nilai 30,243 % berbanding 55,81 %. Sedangkan prosentase *canopy max storage* kalibrasi lebih kecil dibandingkan hasil perhitungan teori dengan nilai 0,001 mm berbanding 0,3 mm.
- Pola hidrograf hasil pemodelan metode *SCS UH* dan *Clark UH* hampir menyerupai hidrograf hasil observasi.
- Debit puncak simulasi metode *SCS UH* sebesar 33,7 m³/s dan metode *Clark UH* sebesar 38,2 m³/s . Debit puncak simulasi pada kedua metode tersebut lebih kecil dibandingkan debit puncak observasi sebesar 47,1 m³/s.

- g. Proses kalibrasi pada metode *SCS UH* menggunakan nilai total curah hujan (*precipitation volume*) sebesar 1988 mm dengan nilai volume yang hilang (*loss volume*) sebesar 856,92 mm, sehingga total volume yang tersisa (*excess volume*) sebesar 1131,08 mm. Nilai total volume simulasi sebesar 1740,35 mm yang diperoleh dari hasil penjumlahan antara limpasan langsung (*Direct Runoff Volume*) sebesar 1052,11 mm dengan aliran dasar (*baseflow volume*) sebesar 688,24 mm. Sedangkan nilai total volume observasi sebesar 1581,81 mm. Sehingga selisih perbedaan total volume simulasi dan observasi sebesar 158,84 mm dengan prosentase perbedaan 10,02 %.
- h. Proses kalibrasi pada metode *Clark UH* menggunakan nilai total curah hujan (*precipitation volume*) sebesar 1988 mm dengan nilai volume yang hilang (*loss volume*) sebesar 686,26 mm, sehingga total volume yang tersisa (*excess volume*) sebesar 1301,74 mm. Nilai total volume simulasi sebesar 1887,15 mm yang diperoleh dari hasil penjumlahan antara limpasan langsung (*Direct Runoff Volume*) sebesar 1198,91 mm dengan aliran dasar (*baseflow volume*) sebesar 688,24 mm. Sedangkan nilai total volume observasi sebesar 1581,81 mm. Sehingga selisih perbedaan total volume simulasi dan observasi sebesar 305,34 mm dengan prosentase perbedaan 19,30%.

Validasi

Validasi model bertujuan untuk menguji nilai parameter hasil kalibrasi. Hasil validasi model dilampirkan pada Tabel 2.

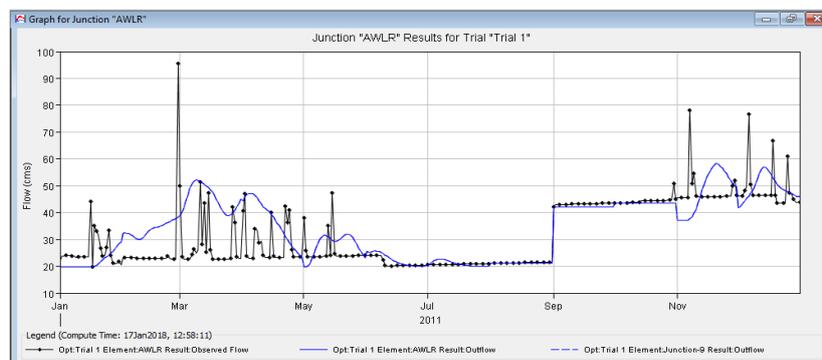
Tabel 2. Hasil Validasi Model Metode *SCS UH* dan Metode *Clark UH*

Metode	Kalibrasi			Validasi		
	2006	2007	2008	2009	2011	2012
<i>SCS UH</i>	0,539	-2,783	-5,194	-1,543	0,368	0,185
<i>Clark UH</i>	0,700	-1,492	-3,158	-0,677	0,541	0,422

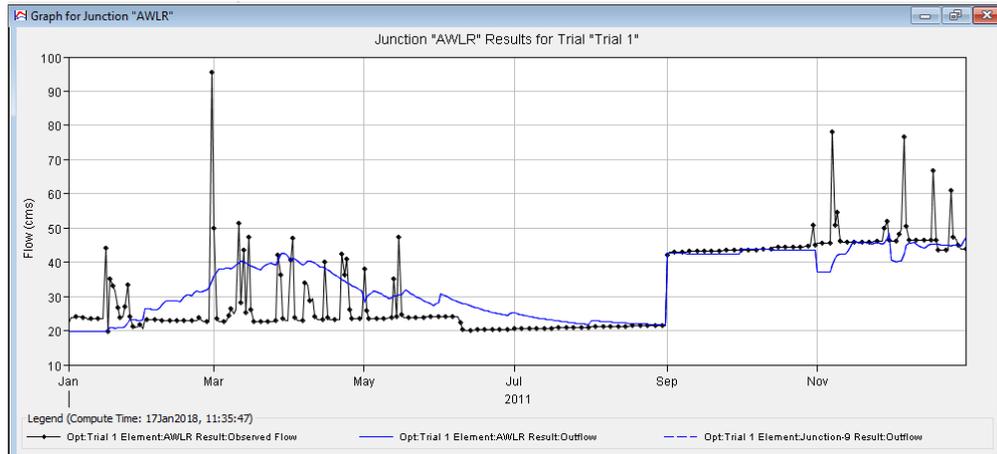
Berdasarkan hasil validasi pada Tabel 2 menunjukkan bahwa :

- Hasil validasi menggunakan parameter hasil kalibrasi tidak semuanya baik.
- Hasil validasi yang kurang baik menggunakan metode *SCS UH* dan *Clark UH* adalah pada tahun 2007, 2008, dan 2009 dengan nilai nash -2,783, -5,194, -1,543 dan -1,492, -3,158, -0,677 secara berurutan.
- Nilai Nash yang cukup baik menggunakan metode *SCS UH* dan *Clark UH* adalah pada tahun 2012 dengan nilai Nash 0,185 dan 0,422.
- Nilai Nash terbaik menggunakan metode *SCS UH* dan metode *Clark UH* adalah pada tahun 2011 dengan nilai Nash sebesar 0.368 dan 0,541.

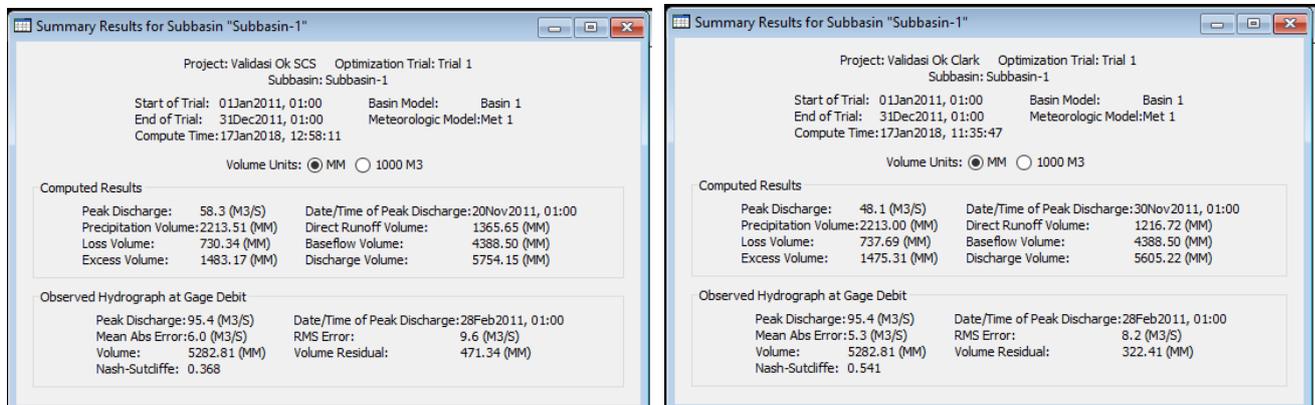
Oleh karena itu hasil validasi yang akan dibahas adalah hasil validasi pada tahun 2011.



Gambar 6. Hasil Validasi Pemodelan Metode *SCS Unit Hydrograph*



Gambar 7. Hasil Validasi Pemodelan Metode Clark Unit Hydrograph



Gambar 8. Rekapitulasi Hasil Validasi Pemodelan Metode SCS Unit Hydrograph dan Unit Hydrograph

Berdasarkan rekapitulasi hasil kalibrasi pada Gambar 6 sampai Gambar 8 menunjukkan bahwa:

- Nilai Nash pada hasil kalibrasi pada SCS UH sebesar 0,368 dengan akurasi rendah. Sedangkan Nilai Nash pada Clark UH sebesar 0,541 dengan akurasi sedang.
- Pola hidrograf hasil validasi metode SCS UH dan Clark UH hampir menyerupai hidrograf hasil observasi.
- Debit puncak simulasi metode SCS UH sebesar 58,3 m³/s dan metode Clark UH sebesar 48,1 m³/s . Debit puncak simulasi pada kedua metode lebih kecil dibandingkan debit puncak observasi sebesar 95,4 m³/s.
- Proses validasi pada metode SCS UH menggunakan nilai total curah hujan (*precipitation volume*) sebesar 2213 mm dengan nilai volume yang hilang (*loss volume*) sebesar 730,34 mm, sehingga total volume yang tersisa (*excess volume*) sebesar 1483,17 mm. Nilai total volume simulasi sebesar 5754,15 mm yang diperoleh dari hasil penjumlahan antara limpasan langsung (*Direct Runoff Volume*) sebesar 1365,65 mm dengan aliran dasar (*baseflow volume*) sebesar 4388,50 mm. Sedangkan nilai total volume observasi sebesar 5282,81 mm. Sehingga selisih perbedaan total volume sebesar 471,34 mm dengan prosentase perbedaan 8,92 %.
- Proses validasi pada metode Clark UH menggunakan nilai total curah hujan (*precipitation volume*) sebesar 2213 mm dengan nilai volume yang hilang (*loss volume*) sebesar 737,69 mm, sehingga total volume yang tersisa (*excess volume*) sebesar 1475,31

mm. Nilai total volume simulasi sebesar 5605,22 mm yang diperoleh dari hasil penjumlahan antara limpasan langsung (*Direct Runoff Volume*) sebesar 1216,72 mm dengan aliran dasar (*baseflow volume*) sebesar 4388,50 mm. Sedangkan nilai total volume observasi sebesar 5282,81 mm. Sehingga selisih perbedaan total volume sebesar 322,41 mm dengan prosentase perbedaan 6,11 %.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Hasil kalibrasi pemodelan pada DAS Deluwang dengan menggunakan metode *Clark Unit Hydrograph* lebih bagus dibandingkan menggunakan metode *SCS Unit Hydrograph* pada *Direct Runoff*. Hal tersebut dapat dilihat dari lebih besarnya nilai Nash yang menggunakan metode *Clark Unit Hydrograph* dibandingkan menggunakan metode *SCS Unit Hydrograph* pada *Direct Runoff*. Nilai Nash menggunakan metode *Clark Unit Hydrograph* pada *Direct Runoff* adalah 0,700, sedangkan Nilai Nash menggunakan metode *SCS Unit Hydrograph* pada *Direct Runoff* adalah 0,539.
2. Hasil validasi pemodelan pada DAS Deluwang dengan menggunakan metode *Clark Unit Hydrograph* lebih bagus dibandingkan menggunakan metode *SCS Unit Hydrograph* pada *Direct Runoff*. Hal tersebut dapat dilihat dari lebih besarnya nilai Nash yang menggunakan metode *Clark Unit Hydrograph* dibandingkan menggunakan metode *SCS Unit Hydrograph* pada *Direct Runoff*. Nilai Nash menggunakan metode *Clark Unit Hydrograph* pada *Direct Runoff* adalah 0,541, sedangkan Nilai Nash menggunakan metode *SCS Unit Hydrograph* pada *Direct Runoff* adalah 0,368.

DAFTAR PUSTAKA

- Choudhari, K., B. Panigrahi., J. C. Paul. 2014. Simulation of Rainfall-Runoff Process Using HEC-HMS Model for Balijore Nala Watershed, Odisha, India. *International Journal of Geomatics and Geosciences* .5(2).
- Hidayah, E. 2011. Model Disagregasi Data Hujan Temporal dengan Pendekatan Bayesian sebagai Input Pemodelan Banjir. *Disertasi*. Surabaya: ITS.
- Hidayah, E. 2012. Uji Keandalan Penguraian Data Hujan Penguraian (Disagregasi) Untuk Pemodelan Hidrograf Banjir di DAS Kelapa Sawit. *Jurnal Teknik Pengairan* .3(2): 97-101.
- Majidi, A., K. Shahedi. 2012. Simulation of Rainfall-Runoff Process Using Green-Ampt Method and HEC-HMS Model (Case Study: Abnama Watershed, Iran). *International Journal of Hydraulic Engineering* .1(1): 5-9.
- Nash, J. E. and Sutcliffe, J. V. (1970). "River flow forecasting through conceptual models". Part I - A discussion of principles, *J. Hydrol.*, 10, 282–290.
- Straub, T.D, Melching, C.S, dan Koche, K.E. (2000). "Equation for Estimating Clark Unit-Hydrograph Parameters for Small Rural Watershed in Illinois". Water-Resources Investigation, Report 00-4184.
- Suhartanto, E. 2008. *Panduan HEC-HMS dan Aplikasinya di Bidang Teknik Sumberdaya Air*. Penerbit Citra, Malang.

- US Army Corps of Engineers 2000. Hydrolic Modeling System HEC-HMS Technical Reference Manual. <http://www.hec.usace.army.mil>. [Diakses pada 8 Desember 2017]
- Ways, L.W. (2011). *Water Resources Engineering*. John Wiley & Sons, Inc, Hoboken.
- Yuliar, I.D. 2015. Optimasi Parameter Model Clark Unit Hydrograph pada DAS Deluang dan Lobawang. *Skripsi*. Jember: Universitas Jember.