

MODEL PENELUSURAN BANJIR METODE GABUNGAN MUSKINGUM-CUNGE DAN O'DONNELL SERTA METODE MUSKINGUM EXTENDED PADA SUNGAI SAMIN DENGAN KETERBATASAN DATA AWLR DI HULU

Agus Suryono¹⁾, Sobriyah²⁾, Siti Qomariyah,³⁾

¹⁾ Mahasiswa Fakultas Teknik, Jurusan teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

^{2),3)} Pengajar Fakultas Teknik, Jurusan teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

Jl. Ir. Sutami 36A, Surakarta 57126; Telp. 0271-634524. Email: agussuryono.uns@gmail.com

Abstract

Flood Routing Model is a hydrograph flow computation in a downstream stream based on hydrograph flow of an upstream location. The data needed in Muskingum method is a measured hydrograph at the upstream and downstream of a river. Muskingum method can be used if there is no lateral flow that goes into the main river. The problem of flood routing process is the unavailability of measured hydrograph data in the upstream - downstream at same period. The tributary flow into the main river could not be ignored. To obtain the downstream hydrograph flow by calculating the tributary flow into the main river is estimated using the Extended Muskingum method and Muskingum-Cunge Combined Methods and O'Donnel. This research aims to determine the suitability of the result simulation hydrograph and observation hydrograph using both methods. This research was conducted using the quantitative analytical descriptive by applying two methods, Extended Muskingum and Muskingum-Cunge Combined Methods and O'Donnel. The Inflow used was the estimated result of hydrograph flow from the Gama HSS 1 method. Location of the study was in Karanganyar and Sukoharjo, Central Java Province. Data of Samin river were collected from BPSDA Karanganyar, BBWS Bengawan Solo and Perum Jasa Tirta 1 Surakarta. The results of flood routing in the Samin river for the event on 23 April 2011 by the Muskingum Extended Method and Muskingum-Cunge Combined Methods and O'Donnel were calibration values of $\Delta Q_p=32,34\%$, $\Delta V=13,96\%$, $\Delta t_c=0\%$, $\Delta Q_p=14,20\%$, $\Delta V=14,20\%$, and $\Delta t_c=40\%$. On 30 April 2011 the result were in the calibration value of $\Delta Q_p=15,36\%$, $\Delta V=34,04\%$, $\Delta t_c=20\%$, $\Delta Q_p=12,74\%$, $\Delta V=32,77\%$, and $\Delta t_c=40\%$. Both methods can be used to calculate peak rate of flow and not recommended to calculate the peak concentration and volume in Samin river.

Keywords: : Flood Routing, Samin River, Suitability Model.

Abstrak

Model penelusuran banjir merupakan perhitungan hidrograf aliran di suatu lokasi sungai yang didasarkan pada hidrograf aliran di lokasi lain. Data yang dibutuhkan dalam penelusuran banjir Metode Muskingum adalah hidrograf aliran di hulu dan hilir. Data tersebut digunakan untuk mengestimasi besarnya parameter penelusuran. Syarat agar Metode Muskingum dapat digunakan adalah dengan tidak adanya aliran lateral yang masuk ke sungai utama. Permasalahan yang muncul pada proses penelusuran banjir adalah ketidaktersediaan data hidroraf terukur di hulu-hilir dan adanya aliran lateral. Model penelusuran banjir yang memperhitungkan adanya aliran lateral adalah Metode Muskingum *Extended* dan Metode Gabungan O'Donnel dan Muskingum-Cunge. Penelitian ini dilakukan dengan cara analisis deskriptif kuantitatif. Analisis dilakukan dengan mengaplikasikan dua metode yaitu metode Muskingum *Extended* dan Metode Gabungan O'Donnel dan Muskingum-Cunge pada Sungai Samin. *Inflow* yang digunakan berupa hidrograf aliran hasil estimasi menggunakan metode HSS Gama 1. Sungai Samin berada di Kabupaten Karanganyar dan Kabupaten Sukoharjo Propinsi Jawa Tengah. Data yang digunakan dalam analisis diperoleh dari Balai Besar Wilayah Sungai Surakarta, Dinas Pengelolaan Sumber Daya Air (PSDA) dan Perum Jasa Tirta 1 Surakarta. Hasil penelitian penelusuran banjir pada Sungai Samin untuk kejadian 23 April 2011 menggunakan Metode Muskingum *Extended* dan Metode Gabungan O'Donnel Dan Muskingum-Cunge berturut-turut menghasilkan nilai kesesuaian antara hasil simulasi dengan hasil pengamatan sebesar $\Delta Q_p=32,34\%$, $\Delta V=13,96\%$, $\Delta t_c=0\%$, $\Delta Q_p=14,20\%$, $\Delta V=14,20\%$, dan $\Delta t_c=40\%$. Perhitungan penelusuran banjir untuk kejadian tanggal 30 April 2011 menghasilkan nilai kesesuaian sebesar $\Delta Q_p=15,36\%$, $\Delta V=34,04\%$, $\Delta t_c=20\%$, $\Delta Q_p=12,74\%$, $\Delta V=32,77\%$, dan $\Delta t_c=40\%$. Berdasarkan data yang ada, kedua metode dapat digunakan untuk menghitung besarnya debit puncak, sedangkan untuk menghitung waktu konsentrasi dan besarnya volume di Sungai Samin tidak disarankan.

Kata kunci: : Penelusuran Banjir, Sungai Samin, Kesesuaian Model.

PENDAHULUAN

Waduk adalah salah satu bangunan yang digunakan untuk mengurangi kerugian akibat banjir. Data hidrologi berupa data hidrograf aliran pada lokasi waduk merupakan data yang dibutuhkan pada proses desain waduk

(Bambang Triatmodjo, 2010). Untuk memperoleh data hidrograf aliran pada lokasi waduk dilakukan penelusuran banjir dengan memasukan hidrograf terukur di hulu. Permasalahan yang sering muncul adalah ketidak tersediaan data hidrograf terukur di hulu. Solusi untuk mengatasi hal tersebut adalah dengan melakukan estimasi besarnya hidrograf aliran di hulu dengan menggunakan metode HSS (Hidrograf Satuan Sintetik) Gama 1. Hidrograf aliran di hulu hasil dari estimasi dengan metode Gama 1 dengan yang sudah dikalikan dengan curah hujan wilayah dalam jam-jaman dapat langsung digunakan sebagai masukan pada proses penelusuran banjir untuk memperoleh hidrograf aliran di hilir. Metode penelusuran banjir yang digunakan adalah Metode Gabungan Muskingum-Cunge dan O'Donnel serta metode Muskingum *Extended*. Hal ini dikarenakan lokasi penelitian berada di Sungai Samin yang memiliki banyak anak sungai. Sungai Samin juga memiliki data hidrograf terukur di hilir. Data tersebut dapat digunakan untuk mengitung besarnya nilai kalibrasi hidrograf hasil penelusuran banjir. Nilai kalibrasi yang dihitung adalah kalibrasi debit, waktu konsentrasi, dan volume.

LANDASAN TEORI

Proses penelusuran banjir di Sungai Samin mengalami keterbatasan berupa data hidrograf terukur di hulu dan setiap anak sungai. Sedangkan syarat untuk dapat dilakukannya penelusuran banjir adalah minimal mengetahui data hidrograf terukur di hulu atau di hulu dan di hilir. Untuk mengetahui besarnya hidrograf aliran di hulu dan setiap anak sungai digunakan metode HSS Gama 1 (Lily M Limantara, 2010)

HSS Gama 1

Waktu Naik

$$TR = 0,43 \left(\frac{L}{100SF} \right)^3 + 1,0665 SIM + 1,2775 \dots\dots\dots [1]$$

Debit Puncak dinyatakan dalam rumus:

$$Qp = 0,1836 A^{0,5886} JN^{10,2381} TR^{-0,4008} \dots\dots\dots [2]$$

Nilai K rumuskan dengan:

$$K = 0,5617 A^{0,1793} S^{-0,1446} SF^{-1,0897} D^{0,0452} \dots\dots\dots [3]$$

Aliran dasar dinyatakan dalam rumus.

$$QB = 0,4751 A^{0,6444} D^{0,9430} \dots\dots\dots [4]$$

Waktu konsentrasi atau lama hujan terpusat dirumuskan:

$$t = 0,1 L^{0,9} i^{-0,3} \dots\dots\dots [5]$$

Sedangkan hasil akhir dari perhitungan HSS Gama 1 dirumuskan sebagai:

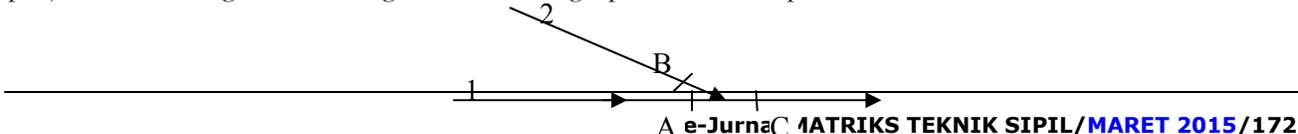
$$Qt = Qp e^{-t/k} \dots\dots\dots [6]$$

Keterangan:

- TR = waktu naik (jam)
- JN = jumlah pertemuan sungai
- A = Luas DAS (km²)
- S = Kemiringan
- SF = perbandingan jumlah panjang sungai tingkat 1 dengan jumlah panjang sungai semua tingkat
- D = kerapatan jaringan sungai (km/km²)
- t = waktu konsentrasi / lama hujan terpusat (jam)
- L = panjang sungai (km)
- i = kemiringan sungai rata-rata
- Qp = Debit puncak (m³/s)
- t = waktu konsentrasi (jam)
- e = Eksponensial

Metode Gabungan Muskingum-Cunge dan O'Donnell

Penelusuran banjir metode gabungan Muskingum-Cunge dan O'Donnell dikembangkan oleh Sobriyah (2012), dengan menganggap hidrograf aliran sungai bagian hilir dari pertemuan sungai dengan anak sungai sama dengan penjumlahan hidrograf aliran sungai dan anak sungai pada suatu titik pertemuan tersebut.



Gambar 1. Skema penelusuran banjir metode gabungan Muskingum-Cunge dan O'Donnell

Dari Gambar 1. dapat diketahui bahwa hidrograf di C merupakan penjumlahan hidrograf aliran A dan hidrograf aliran B. Hidrograf aliran pada titik pertemuan sungai dengan anak sungai dapat diperoleh dengan persamaan berikut,

$$I_{S\ hi_i} = I_{S\ hu_i} + I_{S\ As_i} \dots\dots\dots [7]$$

Keterangan:

- $I_{S\ hi_i}$ = debit aliran di hilir pertemuan sungai pada waktu ke i,
- $I_{S\ hu_i}$ = debit aliran di hulu pertemuan sungai pada waktu ke i,
- $I_{S\ As_i}$ = debit aliran anak sungai yang masuk ke sungai pada waktu ke i.

Secara umum rumus yang digunakan pada metode ini sama dengan rumus-rumus yang digunakan pada metode Muskingum-Cunge pada suatu penggal sungai. Untuk memperoleh besarnya hidrograf aliran di hilir digunakan persamaan berikut,

$$O_{j+1} = C_1 I_j + C_2 I_{j+1} + C_3 O_j \dots\dots\dots [8]$$

Keterangan:

$$C_1 = \frac{-1+C_r+D}{1+C_r+D} \dots\dots\dots [9]$$

$$C_2 = \frac{1+C_r-D}{1+C_r+D} \dots\dots\dots [10]$$

$$C_3 = \frac{1-C_r+D}{1+C_r+D} \dots\dots\dots [11]$$

$$C_1 + C_2 + C_3 = 1 \dots\dots\dots [12]$$

dengan nilai c_r , dan D dihitung dengan persamaan,

$$c_r = v \Delta t / \Delta x \dots\dots\dots [13]$$

perhitungan untuk mendapatkan nilai D digunakan dengan persamaan,

$$D = \frac{q}{Sv\Delta x} \dots\dots\dots [14]$$

Keterangan:

- q = Q/La = debit aliran per unit lebar saluran
- v = kecepatan (m/s)
- ν = difusi hidraulik
- S = kemiringan dasar saluran

Metode Muskingum-Cunge memasukan parameter kecepatan aliran untuk setiap debit yang ditelusur. Untuk memudahkan perhitungan diberikan rumus sebagai berikut.

$$Q = A_p \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots [15]$$

Keterangan:

- Q = debit aliran (m^3/s)
- n = koefisien manning,
- R = radius hidrolis (m)
- S = kemiringan permukaan tanah (dasar sungai)
- A_p = luas penampang basah (m^2)

Metode Muskingum *Extended*

Metode Muskingum *Extended* adalah metode pengembangan dari metode Muskingum sederhana. Metode ini dikembangkan oleh M Hassanuzzaman Khan (1993). Pada prinsipnya metode ini menjumlahkan aliran masuk dari sungai dan dari anak sungai yang kemudian dianggap sebagai *Inflow*. Persamaan selanjutnya dapat ditulis sebagai berikut:

$$[i^{(1)} + i^{(2)} + i^{(3)} + i^{(4)} + i^{(m)}] - Q = ds/dt \dots\dots\dots [16]$$

Keterangan:

- $i^{(1)}, i^{(2)}, i^{(3)}, i^{(m)}$ = *inflow* pada setiap anak sungai
- Q = *outflow* pada sungai utama (hilir)

Untuk menghitung besarnya tampungan dibutuhkan parameter k, x, x_m, i^m , dan Q . Dimana x_m dan i^m merupakan besarnya x dan *inflow* pada masing-masing anak sungai. Besarnya nilai tampungan/*storage* dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$S = k [x_1 i^{(1)} + x_2 i^{(2)} + x_3 i^{(3)} + \dots\dots\dots + x_m i^{(m)} + (1-x) Q] \dots\dots\dots [17]$$

Keterangan:

- S = tampungan pada sungai utama
- k = koefisien tampungan
- x_1, x_2, \dots, x_m = nilai x pada setiap anak sungai
- x = nilai x pada sungai utama

Nilai x dapat dihitung dengan persamaan berikut,

$$x = \frac{x_1 i^{(1)} + x_2 i^{(2)} + x_3 i^{(3)} + \dots + x_m i^{(m)}}{i^{(1)} + i^{(2)} + i^{(3)} + \dots + i^{(m)}} \dots\dots\dots [18]$$

Sehingga persamaan penelusuran banjir untuk mendapatkan nilai Q pada tiap pengal sungai adalah,

$$Q_{j+1} = C_1 i_j + C_2 i_{j+1} + C_3 Q_j \dots\dots\dots [19]$$

Keterangan:

$$C_1 = \frac{\Delta t - 2kx}{\Delta t + k(1-x)} \dots\dots\dots [20]$$

$$C_2 = \frac{\Delta t + 2kx}{\Delta t + k(1-x)} \dots\dots\dots [21]$$

$$C_3 = \frac{-\Delta t + 2kx}{\Delta t + k(1-x)} \dots\dots\dots [22]$$

$$C_1 + C_2 + C_3 = 1 \dots\dots\dots [23]$$

dengan nilai C_1, C_2, C_3 dihitung untuk setiap penggal sungai yang ada.

Kesesuaian Model

Permasalahan yang biasa timbul dalam proses perhitungan kesesuaian model adalah tingkat kesesuaian antara keluaran model dengan hasil pengamatan. Tingkat kesesuaian yang perlu dilihat pada model adalah sebagai berikut: (Susilowati, 2007)

$$\Delta Q_p = \frac{|Q_{pp} - Q_{ps}|}{Q_{pp}} \times 100\% \dots\dots\dots [24]$$

$$\Delta V_p = \frac{|V_p - V_s|}{V_p} \times 100\% \dots\dots\dots [25]$$

$$\Delta t_{cp} = \frac{|t_{cp} - t_{cs}|}{t_{cp}} \times 100\% \dots\dots\dots [26]$$

Keterangan:

- Q_{pp} = debit puncak pengamatan (m^3/s),
- Q_{ps} = debit puncak simulasi (m^3/s),
- V_p = volume aliran pengamatan (m^3)
- V_s = volume aliran simulasi (m^3)
- t_{cp} = waktu puncak pengamatan (jam)
- t_{cs} = waktu puncak simulasi (jam)

METODE PENELITIAN

Pengolahan Data Hujan

Sehubungan dengan data ARR yang tidak berada di tengah DAS dan belum mewakili sebaran hujan pada seluruh DAS, maka dilakukan perhitungan transformasi dari hujan wilayah menjadi curah hujan wilayah dalam jam-jaman dengan menggunakan pola ARR.

Pengolahan Peta Dasar DAS Samin dan Peta Stasiun Hujan.

Pengolahan peta dasar mencakup perhitungan kemiringan (*Slope*), membagi wilayah DAS Samin menjadi beberapa subdas berdasarkan banyaknya jumlah anak sungai, dan menghitung panjang alur sungai utama, serta menghitung panjang alur sungai Orde 1 pada setiap Subdas.

Pengolahan Hidrograf Aliran

Pengolahan hidrograf dimulai dengan menghitung hidrograf aliran (*Inflow*) pada setiap subdas Sungai Samin dengan menggunakan metode HSS Gama 1. Selanjutnya, melakukan perkalian antara hidrograf hasil HSS Gama 1 tanpa *base flow* dengan data curah hujan wilayah dalam jam-jaman. Kemudian, menambahkan hasil dari perhitungan tersebut dengan *base flow* yang didapatkan dari perhitungan HSS Gama 1 pada masing-masing subdas.

Perhitungan Penelusuran Banjir Metode Muskingum *Extended*

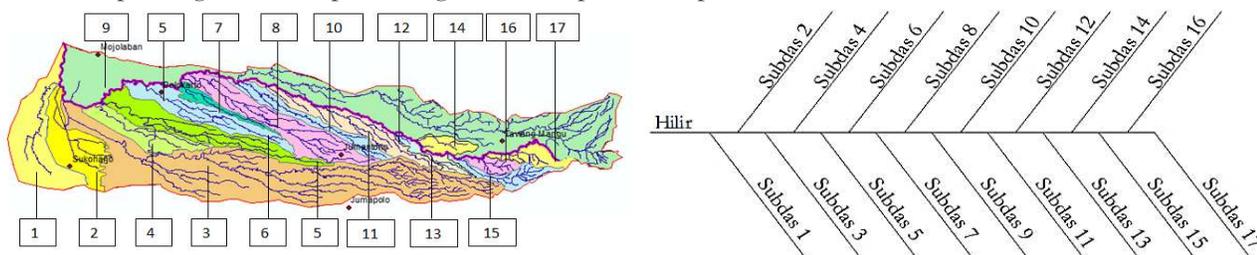
1. Menjumlahkan semua aliran lateral yang masuk ke sungai utama yang kemudian dianggap sebagai *Inflow*.
2. Menghitung besarnya tampungan yang terjadi di Sungai Samin berdasarkan hidrograf aliran perhitungan di hulu dan hidrograf terukur di hilir pada setiap kejadian.
3. Trial besarnya x_m untuk mencari nilai x dan k berdasarkan besarnya tampungan pada sungai utama.
4. Menghitung besarnya nilai c_1 , c_2 , dan c_3 berdasarkan nilai x dan k .
5. Menghitung besarnya hidrograf pada lokasi AWLR Sungai Samin.

Perhitungan Penelusuran Banjir Metode Gabungan Muskingum-Cunge dan O'Donnell

1. Subdas yang terletak di bagian hulu merupakan *inflow* pertama yang akan digunakan untuk memulai perhitungan metode gabungan Muskingum-Cunge dan O'Donnell
2. Menghitung besarnya jarak (Δx) antara *inflow* yang satu dengan yang lainnya sepanjang sungai utama.
3. Membuat persamaan hubungan H-Q, La-Q, P-Q, dan A-Q berdasarkan *cross section* pada setiap penggal sungai.
4. Menghitung besarnya ketinggian air, lebar atas saluran, keliling basah, dan luas penampang basah berdasarkan persamaan yang telah dibuat.
5. Menghitung besarnya kecepatan gelombang kinematik (v) dengan memasukan besarnya nilai debit saluran, lebar atas saluran dan kemiringan dasar saluran.
6. Menghitung besarnya c_r yang didapatkan dari perkalian antara kecepatan gelombang kinematik dengan $\Delta t/\Delta x$.
7. Menghitung besarnya nilai D dengan memasukan besarnya nilai debit saluran, lebar atas saluran, kemiringan dasar saluran, kecepatan gelombang kinematik, dan Δx .
8. Menghitung besarnya nilai c_1 , c_2 , dan c_3 berdasarkan nilai c_r dan D.
9. Menghitung besarnya hidrograf pada penggal pertama sejauh Δx_1 dengan *input* berupa penjumlahan dua buah *inflow* yang saling bertemu.
10. Menghitung besarnya hidrograf pada Δx kedua dengan *input* berupa debit pada poin 9 ditambah dengan *inflow* yang berada di Δx_1 .
11. Melakukan langkah 10 dengan variasi input, Δx , dan parameter setiap penggal sungai sampai diketahui hidrograf pada lokasi AWLR Sungai Samin.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Parameter yang digunakan dalam proses perhitungan HSS Gama 1 untuk mendapatkan hidrograf aliran di setiap subdas yaitu panjang sungai utama, panjang semua sungai orde 1, jumlah pangsa sungai orde 1, jumlah pangsa sungai semua orde, dan jumlah pertemuan sungai. Selain itu RUA dan WF juga berpengaruh dalam perhitungan HSS Gama 1. Skema pembagian subdas pada Sungai Samin dapat dilihat pada Gambar 2.





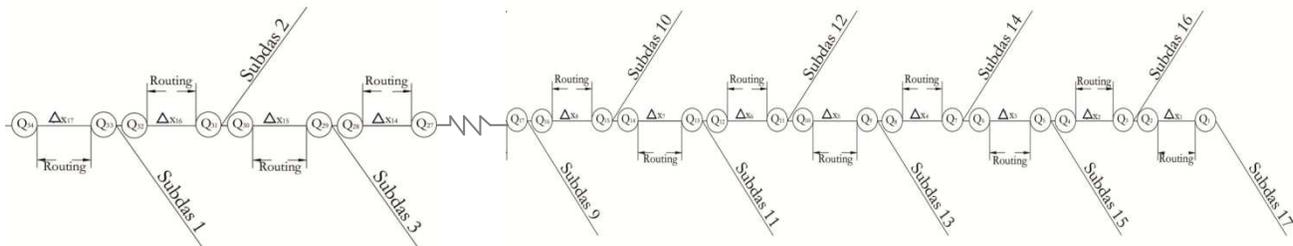
Gambar 2. Skema Pembagian Subdas Sungai Samin

Rekapitulasi debit maksimum dari hasil perhitungan dengan menggunakan HSS Gama 1 dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Rekapitulasi Perhitungan Hidrograf Aliran dengan Metode HSS Gama 1 pada Kejadian 23 April 2011

Subdas (m ³ /mm/jam)																
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
2,24	2,91	17,24	3,55	7,89	5,04	3,02	10,97	12,33	5,77	3,96	0,96	1,41	1,92	3,85	2,22	1,70
13,50	8,58	67,75	14,05	35,21	26,67	11,75	34,44	86,15	9,79	26,00	4,00	7,76	6,17	9,56	9,89	8,28
24,76	14,25	118,26	24,54	44,42	37,54	11,46	57,92	155,42	13,82	27,62	5,37	10,61	7,38	15,26	15,34	14,86
Subdas (m ³ /mm/jam)																
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
29,49	19,93	133,09	19,41	31,17	31,43	7,51	43,67	117,99	17,84	16,47	2,25	7,19	4,16	20,96	8,50	13,35
26,81	22,13	108,38	14,57	22,73	26,47	5,41	33,17	90,35	21,71	10,58	1,34	5,05	2,84	14,74	5,23	8,39
24,39	15,57	88,93	11,21	17,35	22,43	4,29	26,04	69,95	19,14	7,46	1,07	3,70	2,30	10,04	3,66	5,54
22,21	11,25	73,64	8,87	13,92	19,16	3,69	21,20	54,88	17,00	5,81	0,99	2,85	2,08	7,37	2,91	3,91
20,24	8,40	61,60	7,25	11,73	16,50	3,38	17,91	43,75	15,19	4,94	0,97	2,32	1,99	5,85	2,55	2,97
18,47	6,52	52,14	6,12	10,34	14,35	3,21	15,68	35,53	13,68	4,47	0,96	1,98	1,95	4,99	2,38	2,43
16,87	5,29	44,69	5,34	9,45	12,60	3,12	14,17	29,46	12,41	4,23	0,96	1,77	1,93	4,50	2,29	2,12
15,43	4,48	38,84	4,79	8,89	11,17	3,07	13,14	24,98	11,34	4,10	0,96	1,64	1,93	4,22	2,26	1,94
14,13	3,94	34,23	4,41	8,53	10,02	3,05	12,44	21,67	10,44	4,03	0,96	1,56	1,93	4,06	2,24	1,83
12,96	3,59	30,60	4,15	8,30	9,08	3,03	11,97	19,23	9,69	4,00	0,96	1,50	1,92	3,97	2,23	1,78
11,91	3,35	27,75	3,97	8,15	8,32	3,03	11,65	17,42	9,06	3,98	0,96	1,47	1,92	3,92	2,22	1,74
10,95	3,20	25,51	3,84	8,06	7,70	3,02	11,43	16,09	8,53	3,97	0,96	1,45	1,92	3,89	2,22	1,72
10,10	3,10	23,75	3,75	8,00	7,20	3,02	11,28	15,11	8,09	3,96	0,96	1,44	1,92	3,87	2,22	1,71
9,32	3,03	22,36	3,69	7,96	6,79	3,02	11,18	14,38	7,72	3,96	0,96	1,43	1,92	3,87	2,22	1,71
8,63	2,99	21,27	3,65	7,94	6,46	3,02	11,11	13,84	7,40	3,96	0,96	1,42	1,92	3,86	2,22	1,70
8,00	2,96	20,41	3,62	7,92	6,19	3,02	11,06	13,45	7,14	3,96	0,96	1,42	1,92	3,86	2,22	1,70
7,43	2,94	19,73	3,60	7,91	5,98	3,02	11,03	13,15	6,92	3,96	0,96	1,42	1,92	3,86	2,22	1,70
6,92	2,93	19,20	3,58	7,90	5,80	3,02	11,01	12,94	6,74	3,96	0,96	1,42	1,92	3,85	2,22	1,70

Penelusuran banjir dengan Metode Gabungan Muskingum-Cunge dan O'Donnell menganggap bahwa aliran yang masuk ke sungai utama langsung ditambahkan dengan debit pada titik pertemuan. Perhitungan penelusuran banjir menggunakan Metode Gabungan Muskingum-Cunge dan O'Donnell dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Skema Perhitungan Penelusuran Banjir Metode Gabungan Muskingum-Cunge dan O'Donnell

Dari Gambar 3 dapat dilihat *input* dan *output* proses penelusuran banjir Metode Gabungan Muskingum-Cunge dan O'Donnell mulai dari hulu sampai dengan hilir. Hasil akhir dari perhitungan Metode Gabungan Muskingum-Cunge dan O'Donnell (Q_{32}) dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Akhir Perhitungan Metode Gabungan Gabungan Muskingum-Cunge dan O'Donnell pada Kejadian 23 April 2011

t	Q_{33} (m ³ /s)	$C_1 I_2$	$C_2 I_1$	$C_3 O_1$	Q_{34} (m ³ /s)
0	86,971				86,97
1	275,802	263,43	-75,52	79,42	267,33
2	478,656	457,18	-239,49	244,12	461,82
3	505,002	482,35	-415,63	421,73	488,45
4	453,214	432,88	-438,51	446,04	440,42

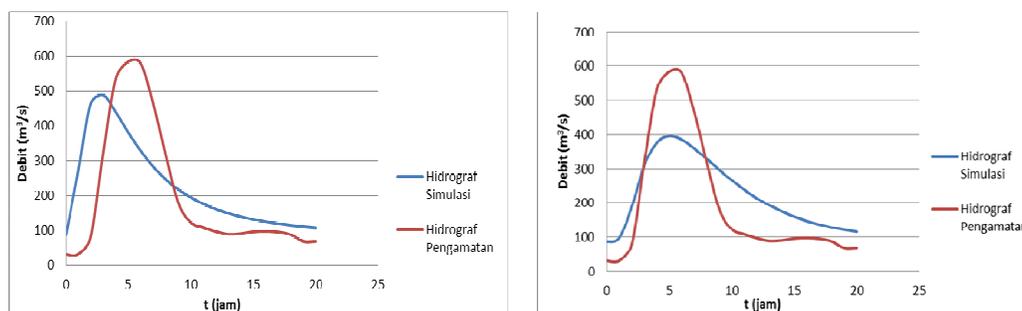
5	390,858	373,32	-393,54	402,18	381,97
6	334,185	319,19	-339,39	348,81	328,61
7	285,965	273,14	-290,18	300,08	283,04
8	247,390	236,29	-248,31	258,47	246,45
9	217,038	207,30	-214,82	225,05	217,54
10	192,971	184,31	-188,46	198,65	194,51
11	173,794	166,00	-167,56	177,62	176,06
12	158,403	151,30	-150,91	160,77	161,16
13	145,986	139,44	-137,55	147,17	149,06
14	135,917	129,82	-126,76	136,12	139,18
15	127,717	121,99	-118,02	127,10	131,06
16	121,013	115,58	-110,90	119,68	124,37
17	115,509	110,33	-105,08	113,57	118,82
18	110,976	106,00	-100,30	108,50	114,20
19	107,228	102,42	-96,36	104,29	110,34
20	104,120	99,45	-93,11	100,76	107,10

Penelusuran banjir Metode Muskingum *Extended* menganggap bahwa *inflow* yang digunakan adalah hasil penjumlahan dari semua aliran yang masuk ke sungai utama melalui anak sungai. Nilai x di trial antara 0,1-0,5. Hasil dari trial diperoleh koefisien korelasi dari Persamaan 14 pada kejadian tanggal 30 April 2011 sebesar 0,58 dan nilai x pada setiap anak sungai dan sungai utama sebesar 0,1. Dengan demikian nilai k diketahui sebesar 3,71. Hasil akhir hidrograf aliran pada kejadian tanggal 23 April 2011 dapat dilihat pada Tabel 3.

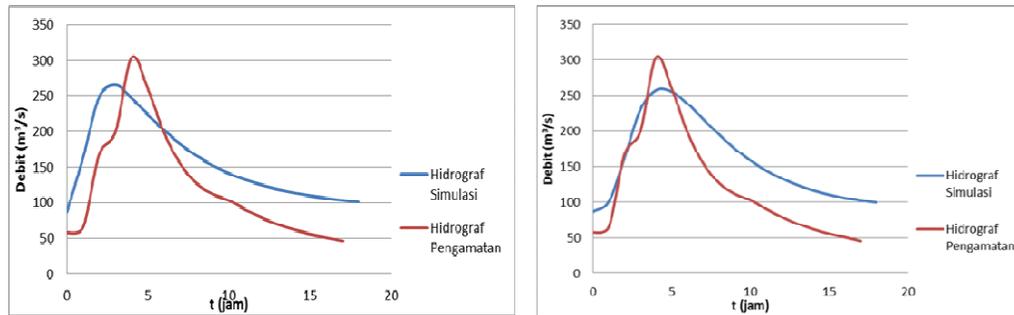
Tabel 3. Hasil Akhir Perhitungan Metode Muskingum *Extended* pada Kejadian 23 April 2011

t	Inflow (m ³ /s)	C ₁ .I ₂	C ₂ .I ₁	C ₃ .O ₁	Outflow (m ³ /s)
0	86,97				86,97
1	416,23	13,95	19,73	64,33	98,00
2	663,02	22,22	94,40	72,49	189,11
3	579,27	19,41	150,38	139,88	309,67
4	461,60	15,47	131,38	229,06	375,91
5	363,91	12,19	104,69	278,05	394,94
6	294,87	9,88	82,54	292,13	384,55
7	245,15	8,21	66,88	284,45	359,54
8	208,76	6,99	55,60	265,95	328,54
9	181,75	6,09	47,35	243,02	296,46
10	161,46	5,41	41,22	219,28	265,92
11	146,05	4,89	36,62	196,70	238,21
12	134,22	4,50	33,12	176,20	213,82
13	125,07	4,19	30,44	158,16	192,79
14	117,92	3,95	28,37	142,61	174,92
15	112,29	3,76	26,74	129,39	159,90
16	107,84	3,61	25,47	118,27	147,36
17	104,27	3,49	24,46	109,00	136,95
18	101,41	3,40	23,65	101,30	128,35
19	99,09	3,32	23,00	94,94	121,26
20	97,20	3,26	22,47	89,69	115,42

Model penelusuran banjir yang dikembangkan untuk memperkirakan hidrograf aliran di hilir diharapkan mempunyai keluaran mendekati kejadian banjir yang sebenarnya. Walaupun demikian, model penelusuran banjir tidak mungkin dapat mensimulasikan kejadian banjir yang sebenarnya secara tepat. Perbandingan hidrograf simulasi dengan hidrograf pengamatan pada tanggal 23 April 2011 dan 30 April 2011 untuk kedua metode dapat dilihat pada Gambar 4-5.



Gambar 4. Hidrograf Pengamatan dan Simulasi dengan Metode Gabungan Muskingum-Cunge dan O'Donnel Metode Muskingum *Extended* pada Kejadian Hujan Tanggal 23 April 2011



Gambar 5. Hidrograf Pengamatan dan Simulasi dengan Metode Gabungan Muskingum-Cunge dan O'Donnell Metode Muskingum *Extended* pada Kejadian Hujan Tanggal 30 April 2011

Kesesuaian antara hidrograf simulasi dan pengamatan pada debit puncak, volume, dan waktu konsentrasi dengan menggunakan Metode Muskingum *Extended* serta Metode Gabungan Muskingum-Cunge dan O'Donnell berturut-turut pada tanggal 23 April 2011 adalah $\Delta Q_p=32,34\%$, $\Delta V=13,96\%$, $\Delta t_c=0\%$, $\Delta Q_p=14,20\%$, $\Delta V=14,20\%$, dan $\Delta t_c=40\%$. Hasil perhitungan kesesuaian untuk kejadian tanggal 30 April 2011 menghasilkan nilai sebesar $\Delta Q_p=15,36\%$, $\Delta V=34,04\%$, $\Delta t_c=20\%$, $\Delta Q_p=12,74\%$, $\Delta V=32,77\%$, dan $\Delta t_c=40\%$.

SIMPULAN

1. Keterbatasan data hidrograf terukur di hulu bisa digantikan dengan hidrograf aliran hasil perhitungan menggunakan metode HSS Gama 1 yang sudah dikalikan dengan curah hujan wilayah dalam jam-jaman. Debit puncak hasil penelusuran banjir menggunakan Metode Muskingum *Extended* pada tanggal 23 April 2011 dan 30 April 2011 berturut-turut adalah $Q_{puncak} = 394,94 \text{ m}^3/\text{s}$ dan $Q_{puncak} = 257,42 \text{ m}^3/\text{s}$. Pada Metode Gabungan O'Donnell dan Muskingum-Cunge untuk kejadian tanggal 23 April 2011 dan 30 April 2011 didapatkan nilai $Q_{puncak} = 488,45 \text{ m}^3/\text{s}$ dan $Q_{puncak} = 265,39 \text{ m}^3/\text{s}$.
2. Hasil perhitungan kesesuaian dengan hasil pengamatan pada Metode Muskingum *Extended* kejadian tanggal 23 April 2011 menghasilkan nilai sebesar $\Delta Q_p = 32,34\%$, $\Delta V = 13,96\%$, dan $\Delta t_c = 0\%$. Pada kejadian lainnya yaitu tanggal 30 April 2011 menghasilkan nilai kesesuaian sebesar $\Delta Q_p = 15,36\%$, $\Delta V = 34,04\%$, dan $\Delta t_c = 20\%$. Hasil perhitungan kesesuaian pada Metode Gabungan O'Donnell dan Muskingum-Cunge kejadian tanggal 23 April 2011 sebesar $\Delta Q_p = 14,2\%$, $\Delta V = 14,20\%$, dan $\Delta t_c = 40\%$. Hasil perhitungan kesesuaian pada kejadian 30 April 2011 sebesar $\Delta Q_p = 12,74\%$, $\Delta V = 32,77\%$, dan $\Delta t_c = 40\%$. Berdasarkan hasil perhitungan kesesuaian model diatas, kedua metode dapat digunakan untuk menghitung debit puncak pada Sungai Samin, sedangkan untuk menghitung waktu konsentrasi dan volume tidak dapat direkomendasikan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih kepada Prof. Dr. Ir. Sobriyah, MS dan Ir. Siti Qomariyah, MSc yang telah membimbing dan memberi arahan serta masukan dalam penelitian ini.

REFERENSI

- Khan, M Hassanuzzaman. 1993. *Muskingum Flood Routing Model for Multiple Tributaries*. Bangladesh Agricultural University.
- Limantara. Lily M Limantara, 2010. *Hidrologi Praktis*. Lubuk Agung.
- Sobriyah. 2010. Model Hidrologi. UNS Press
- Susilowati. 2007. *Analisis Hidrograf Aliran Sungai dengan Adanya Beberapa Bendung Kaitannya dengan Konservasi Air*. Tesis. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Triatmodjo. Bambang. 2008. *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta: Beta Offset.