

# TRANSFORMASI HUJAN HARIAN KE HUJAN JAM-JAMAN MENGGUNAKAN METODE MONONOBE DAN PENGALIHHRAGAMAN HUJAN ALIRAN (Studi Kasus di DAS Tirtomoyo)

Rosadana Nurir Rahmani<sup>1)</sup>, Sobriyah<sup>2)</sup>, Agus Hari Wahyudi<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Mahasiswa Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

<sup>2), 3)</sup> Pengajar Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

Jl. Ir. Sutami 36A, Surakarta 57126; Telp. 0271-634524. Email : [rosadananurir@yahoo.com](mailto:rosadananurir@yahoo.com)

## Abstract

*Rational methods used to estimate flood discharge by using the intensity of the rain. One method to calculate the intensity of rainfall is a Mononobe method. Calculation of flood discharge with Rational method requires a flow coefficient (C). Rated flow coefficient (C) can be estimated based rainfall discharge formulation into streams. The purpose of this study were (1) Getting the calibration constants (m) Mononobe to convert daily rainfall to rain hourly, (2) Getting the calibration coefficient C at rainfall discharge formulation into streams using the data ARR, (3) Getting the calibration constants (m) Mononobe on rainfall discharge formulation into streams using Mononobe rainfall intensity. Determination of constant value (m) Mononobe done by changing the daily rain into rain hourly using Mononobe method and ABM. Furthermore, the calibration coefficient (C) and constant (m) Mononobe on rainfall discharge formulation into streams. Flow hydrograph calculated results compared with the measured results of flow hydrograph. If the comparison value is not the same approach, the calculation is repeated by way try to change the value of the coefficient C and a constant (m) Mononobe until the results are approximately equal. Based on the results of calibration constants (m) Mononobe to convert daily rainfall to rain hourly shows the difference in volume, peak flow, and the peak time is between 21.54% to 13876.95%. For the results of calibration coefficients C in rainfall discharge formulation differences in the difference volume, peak flow, and the peak time is between 24.67% to 77.81%. And calibration constants (m) Mononobe on rainfall discharge formulation shows the difference volume, peak flow, and the peak time is between 33.33% to 97.69%. From the calculation above, can not be accepted because, according to Sofyan et al. (1995) stipulates that the flood hydrograph error between measured and accounted for 10-20% is acceptable.*

*Keywords: transformation, Mononobe methods, rainfall discharge formulation.*

## Abstrak

Metode Rasional banyak digunakan untuk memperkirakan debit banjir dengan menggunakan intensitas hujan. Salah satu metode untuk menghitung intensitas hujan adalah metode Mononobe. Perhitungan debit banjir dengan metode Rasional memerlukan koefisien aliran (C). Nilai koefisien aliran (C) dapat diestimasikan berdasarkan pengalihragaman hujan menjadi aliran. Tujuan dari penelitian ini adalah (1) Mendapatkan hasil kalibrasi konstanta (m) Mononobe untuk mengubah hujan harian menjadi hujan jam-jaman, (2) Mendapatkan hasil kalibrasi koefisien C pada pengalihragaman hujan menjadi aliran menggunakan data ARR, (3) Mendapatkan hasil kalibrasi konstanta (m) Mononobe pada pengalihragaman hujan menjadi aliran menggunakan intensitas hujan Mononobe. Penentuan nilai konstanta (m) Mononobe dilakukan dengan cara mengubah hujan harian menjadi hujan jam-jaman menggunakan metode Mononobe dan ABM. Selanjutnya dilakukan kalibrasi koefisien (C) dan konstanta (m) Mononobe pada pengalihragaman hujan menjadi aliran. Hidrograf aliran hasil terhitung dibandingkan dengan hidrograf aliran hasil terukur. Jika hasil perbandingan nilainya tidak mendekati sama, maka perhitungan diulangi dengan mencoba-coba mengubah nilai koefisien C dan konstanta (m) Mononobe sampai hasilnya mendekati sama. Berdasarkan hasil kalibrasi konstanta (m) Mononobe untuk mengubah hujan harian menjadi hujan jam-jaman menunjukkan perbedaan selisih volume, debit puncak, dan waktu puncak yaitu antara 21,54% sampai dengan 13876,95%. Untuk hasil kalibrasi koefisien C pada pengalihragaman hujan aliran, perbedaan selisih volume, debit puncak, dan waktu puncak yaitu antara 24,67% sampai dengan 77,81%. Dan kalibrasi konstanta (m) Mononobe pada pengalihragaman hujan aliran menunjukkan perbedaan selisih volume, debit puncak, dan waktu puncak yaitu antara 33,33% sampai dengan 97,69%. Dari hasil perhitungan di atas, tidak bisa diterima karena menurut Sofyan dkk. (1995) kesalahan hidrograf banjir antara terukur dan terhitung sebesar 10-20% masih dapat diterima.

Kata kunci : transformasi, metode Mononobe, pengalihragaman hujan aliran.

## PENDAHULUAN

Di Indonesia, banjir telah menjadi bencana yang umum terjadi pada setiap musim penghujan. Upaya untuk mengurangi kerugian tersebut yaitu dilakukan pengendalian banjir dengan berbagai cara. Kegiatan pengendalian banjir memerlukan informasi mengenai besarnya debit banjir yang terjadi. Salah satu metode yang digunakan untuk memperkirakan debit banjir adalah metode Rasional. Perhitungan debit banjir dengan metode Rasional memerlukan data intensitas hujan. Intensitas hujan dapat dihitung dengan menggunakan beberapa persamaan empiris. Persamaan empiris intensitas hujan yang umum digunakan di Indonesia adalah rumus Mononobe. Rumus tersebut menggunakan suatu konstanta ( $m$ ) yang berdasarkan karakteristik curah hujan setempat.

Kondisi kualitas data hujan di Indonesia rata-rata kurang memadai jika digunakan dalam analisis hidrologi. Mengingat bahwa data hujan jam-jaman tidak selalu tersedia di suatu daerah, menarik untuk diteliti bagaimana mengubah hujan harian menjadi hujan jam-jaman menggunakan rumus Mononobe dan menetapkan nilai koefisien ( $m$ ) yang sesuai. Hujan jam-jaman ini dibutuhkan untuk pengalihragaman hujan menjadi aliran dengan metode Rasional. Salah satu parameter hidrologi yang diperhitungkan dalam metode Rasional adalah koefisien aliran ( $C$ ). Nilai koefisien aliran ( $C$ ) dapat diestimasi berdasarkan pengalihragaman hujan menjadi aliran jika memiliki pasangan data hujan jam-jaman dan hidrograf aliran. Beberapa penelitian terdahulu (Irfan Budi Pramono, Nining Wahyuningrum, Agus Wuryanta, 2010; Febrina Girsang, 2007) rumus Rasional banyak digunakan untuk memperkirakan debit banjir dengan menggunakan intensitas hujan Mononobe. Konstanta ( $m$ ) Mononobe di setiap daerah penelitian berbeda (Fennani Arpan, 2004; Nursaleh, 2010). Untuk daerah yang diteliti perlu dicari koefisien ( $m$ ) yang sesuai.

Lokasi penelitian ini berada di Sungai Tirtomoyo yang merupakan bagian dari Sungai Bengawan Solo. Sungai Tirtomoyo bermuara di Waduk Gajah Mungkur yang terletak di Kabupaten Wonogiri. Pemilihan lokasi ini didasarkan atas pertimbangan ketersediaan data *Automatic Rainfall Recorder* (ARR) dan *Automatic Water Level Recorder* (AWLR). Penelitian ini telah mencoba melakukan perhitungan kalibrasi konstanta ( $m$ ) Mononobe untuk mengubah hujan harian menjadi hujan jam-jaman, kalibrasi koefisien  $C$  pada pengalihragaman hujan menjadi aliran menggunakan data ARR, dan kalibrasi konstanta ( $m$ ) Mononobe pada pengalihragaman hujan menjadi aliran menggunakan intensitas hujan Mononobe.

## LANDASAN TEORI

### Pembuatan Liku Kalibrasi (*Rating Curve*)

*Rating curve* merupakan grafik hubungan antara tinggi muka air dengan debit aliran sungai di suatu lokasi. Rumus *rating curve* DAS Tirtomoyo didapatkan dari Balai Penelitian Teknologi Kehutanan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Surakarta Propinsi Jawa Tengah tahun 1996, yang dapat dilihat pada persamaan [1].

..... [1]  
keterangan:

$Q$  = debit ( $m^3$ /detik),  
 $H$  = elevasi muka air (m).

### Intensitas Hujan

Intensitas hujan merupakan kedalaman air hujan tiap satuan waktu. Apabila data hujan jangka pendek (hujan jam-jaman) tidak tersedia, maka intensitas hujan dihitung dengan menggunakan rumus Mononobe (Suripin, 2003). Metode Mononobe digunakan untuk keadaan hujan dengan lama hujan yang relatif pendek, yang dapat dilihat pada persamaan [2].

— - ..... [2]  
keterangan:

$R_t$  = intensitas hujan rerata dalam  $T$  jam (mm/jam),  
 $R_{24}$  = curah hujan maksimum dalam 1 hari (mm),  
 $t$  = durasi hujan (jam), untuk Indonesia antara 5-7 jam,  
 $T$  = jam ke-1 s/d jam ke 5-7.

Setelah didapat distribusi hujan periode ke- $t$  ( $R_t$ ) tersebut, kemudian dihitung distribusi hujan satuan yang dapat dilihat pada persamaan [3].

$$\dots\dots\dots [3]$$

keterangan:

- $R_T$  = curah hujan pada jam ke- $T$ ,
- $R_t$  = intensitas curah hujan rerata sampai dengan jam ke- $T$ ,
- $T$  = waktu hujan dari awal sampai dengan jam ke- $T$ ,
- $R_{(t-1)}$  = rerata hujan dari awal sampai dengan jam ke  $(T-1)$ .

**Alternating Block Method (ABM)**

*Alternating Block Method* (ABM) adalah cara sederhana untuk membuat *hyetograph* rencana dari kurva Intensitas-Durasi-Frekuensi (IDF) (Chow et al., 1988). *Hyetograph* rencana yang dihasilkan oleh metode ini adalah hujan yang terjadi dalam  $n$  rangkaian interval waktu yang berurutan dengan durasi  $\Delta t$  selama waktu  $Td = n\Delta t$ . Untuk periode ulang tertentu, intensitas hujan diperoleh dari kurva IDF pada setiap durasi waktu  $\Delta t, 2\Delta t, 3\Delta t, \dots, n\Delta t$ . Ketebalan hujan diperoleh dari perkalian antara intensitas hujan dan durasi waktu tersebut. Perbedaan antara nilai ketebalan hujan yang berurutan merupakan penambahan hujan dalam interval waktu  $\Delta t$ . Penambahan hujan tersebut (blok-blok), diurutkan kembali ke dalam rangkaian waktu dengan intensitas maksimum berada pada tengah-tengah durasi hujan  $Td$  dan blok-blok sisanya disusun dalam urutan menurun secara bolak-balik pada kanan dan kiri dari blok tengah.

**Waktu Konsentrasi**

Waktu konsentrasi ( $t_c$ ) suatu DAS adalah waktu yang diperlukan oleh air hujan yang jatuh untuk mengalir dari titik terjauh sampai ke tempat keluaran DAS (titik kontrol) setelah tanah menjadi jenuh dan depresi-depresi kecil terpenuhi. Salah satu metode untuk memperkirakan waktu konsentrasi adalah rumus yang dikembangkan oleh (Kirpich, 1940) yang dapat dilihat pada persamaan [4].

$$t_c = \dots\dots\dots [4]$$

keterangan:

- $t_c$  = waktu konsentrasi (jam),
- $L$  = panjang saluran utama dari hulu sampai penguras (km),
- $S$  = kemiringan rata-rata saluran (m).

**Metode Rasional**

Merupakan rumus empirik sederhana yang masih banyak digunakan saat ini untuk menghitung debit puncak banjir ( $Q_p$ ). Menurut Ponce (1989) dalam perhitungannya metode ini telah memasukkan karakteristik hidrologi dan proses aliran yaitu: (1) intensitas hujan, (2) durasi hujan, (3) luas DAS, (4) kehilangan air akibat evaporasi, intersepsi, infiltrasi dan (5) konsentrasi aliran. Rumus Rasional dapat dilihat pada persamaan [5].

$$Q_p = 0,278 \times C \times I \times A \dots\dots\dots [5]$$

keterangan:

- $Q_p$  = laju aliran permukaan (debit) puncak ( $m^3/detik$ ),
- $I$  = intensitas hujan (mm/jam),
- $A$  = luas DAS ( $km^2$ ),
- $C$  = koefisien aliran permukaan ( $0 \leq C \leq 1$ ).

**Metode Time-Area**

Metode *time-area* merupakan pengembangan metode Rasional yang tetap berprinsip pada konsentrasi aliran, tetapi dapat digunakan untuk hujan yang kompleks, yang dapat diterapkan pada DAS sedang. DAS dibagi menjadi sub DAS – sub DAS oleh *isochrone* yang mempunyai waktu perjalanan air (*travel time*) yang sama (Sobriyah, 2012). Setiap sub DAS diukur luasnya dan digambarkan sebagai histogram. Besarnya *travel time* yang digunakan disamakan dengan interval waktu *hyetograph* hujannya. Proses hujan aliran dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Proses Hujan-aliran dari setiap *Isochrone*

t	Hujan ke-			Jumlah
	1	2	3	
0	0			0
1	$Q_{1,1}$	0		$Q_{1,1}$
2	$Q_{1,2}$	$Q_{2,1}$	0	$Q_{1,2} + Q_{2,1}$
3	$Q_{1,3}$	$Q_{2,2}$	$Q_{3,1}$	$Q_{1,3} + Q_{2,2} + Q_{3,1}$
4	$Q_{1,4}$	$Q_{2,3}$	$Q_{3,2}$	$Q_{1,4} + Q_{2,3} + Q_{3,2}$
5	0	$Q_{2,4}$	$Q_{3,3}$	$Q_{2,4} + Q_{3,3}$
6		0	$Q_{3,4}$	$Q_{3,4}$
7			0	0

Keterangan :  $Q_{i,j}$  notasi  $i$  = hujan ke  $i$ ,  $j$  = *isochrone* ke  $j$ .

Sumber : Model Hidrologi, Sobriyah 2012

### Koefisien Aliran (C)

Koefisien aliran (C) merupakan nilai tetap yang merupakan perbandingan antara hujan efektif dan hujan yang jatuh. Nilai C biasanya diambil untuk tanah jenuh pada waktu permulaan hujannya (Iman Subarkah, 1978) dengan nilai berkisar antara 0-1 yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Koefisien Aliran (C)

Tata Guna Lahan	Lempung Berpasir	Lempung Siltloam	Lempung Padat
Hutan			
Kemiringan 0-5%	0,10	0,30	0,40
5-10%	0,25	0,35	0,50
10-30%	0,30	0,50	0,60
Padang rumput/semak			
Kemiringan 0-5%	0,10	0,30	0,40
5-10%	0,15	0,35	0,55
10-30%	0,20	0,40	0,60
Tanah pertanian			
Kemiringan 0-5%	0,30	0,50	0,60
5-10%	0,40	0,60	0,70
10-30%	0,50	0,70	0,80
Perumahan			
	Daerah <i>single family</i>		0,30-0,50
	<i>Multi units</i> , terpisah-pisah		0,40-0,60
	<i>Multi units</i> , tertutup		0,60-0,75
	Suburban		0,25-0,40
	Daerah rumah-rumah apartemen		0,50-0,70
Industri			
	Daerah kurang padat		0,50-0,80
	Daerah padat		0,60-0,90
<i>Business</i>			
	Daerah kota lama		0,75-0,95
	Daerah pinggiran		0,50-0,70

Sumber: Iman Subarkah (1978)

Tabel 2 menggambarkan nilai  $C$  untuk penggunaan lahan yang seragam, dimana kondisi ini sangat jarang dijumpai untuk lahan yang relatif luas. Jika DAS terdiri dari berbagai macam penggunaan lahan dengan koefisien aliran permukaan yang berbeda, maka nilai  $C$  DAS dapat dihitung dengan persamaan [6].

$$C_{komposit} = \frac{\sum A_i C_i}{n \sum A_i} \dots\dots\dots [6]$$

keterangan:

- $A$  = luas lahan dengan jenis penutup tanah (km<sup>2</sup>),
- $C$  = koefisien aliran permukaan jenis penutup tanah,
- $n$  = jumlah jenis penutup lahan.

**Kalibrasi Hasil Analisis**

Suatu proses kalibrasi yang menghasilkan keluaran simulasi yang persis sama dengan cacatan hasil pengamatan tentunya tidak mungkin akan tercapai. Permasalahan yang biasa timbul dalam proses kalibrasi adalah tingkat kesesuaian antara analisis (terhitung) dengan hasil pengamatan (terukur). Sofyan dkk. (1995) menetapkan bahwa kesalahan hidrograf banjir hasil simulasi sebesar 10-20% masih dapat diterima. Tingkat kesesuaian yang perlu dilihat pada hitungan adalah untuk menghitung beda debit puncak antara pengamatan (terukur) dan analisis (terhitung) yang dapat dilihat pada persamaan [7], untuk menghitung beda volume air antara pengamatan (terukur) dan analisis (terhitung) dapat dilihat pada persamaan [8] dan untuk menghitung beda waktu puncak pengamatan (terukur) dan analisis (terhitung) dapat dilihat pada persamaan [9].

$$\Delta Q_p = \frac{Q_{pp} - Q_{pa}}{Q_{pa}} \dots\dots\dots [7]$$

keterangan:

- $\Delta Q_p$  = beda debit puncak antara pengamatan (terukur) dan analisis (terhitung) (%),
- $Q_{pp}$  = debit puncak pengamatan (terukur) (m<sup>3</sup>/detik),
- $Q_{pa}$  = debit puncak analisis (terhitung) (m<sup>3</sup>/detik).

$$\Delta V = \frac{V_p - V_a}{V_a} \dots\dots\dots [8]$$

keterangan:

- $\Delta V$  = beda volume aliran antara pengamatan (terukur) dan analisis (terhitung) (%),
- $V_p$  = volume aliran pengamatan (terukur) (m<sup>3</sup>),
- $V_a$  = volume aliran analisis (terhitung) (m<sup>3</sup>).

$$\Delta t_c = \frac{t_{cp} - t_{ca}}{t_{ca}} \dots\dots\dots [9]$$

keterangan:

- $\Delta t_c$  = beda waktu mencapai puncak antara pengamatan (terukur) dan analisis (terhitung) (%),
- $t_{cp}$  = waktu puncak pengamatan (terukur) (jam),
- $t_{ca}$  = waktu puncak analisis (terhitung) (jam).

**METODE PENELITIAN**

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah Deskriptif Kuantitatif. Metode ini berupa pengumpulan data, analisis data, dan interpretasi hasil analisis untuk mendapatkan informasi guna pengambilan keputusan dan kesimpulan. Lokasi penelitian di DAS Tirtomoyo. Data yang dibutuhkan berupa ARR dan AWLR.

Adapun tahap-tahap analisisnya adalah sebagai berikut:

Perhitungan simulasi konstanta ( $m$ ) Mononobe dengan metode Mononobe adalah sebagai berikut:

1. Menjumlahkan hujan jam-jaman untuk dijadikan hujan harian.
2. Trial nilai konstanta ( $m$ ) Mononobe.
3. Mencari hujan jam-jaman dengan metode Mononobe dari data hujan nomor 1.

4. Membandingkan hasil hitungan hujan jam-jaman metode Mononobe dan hujan jam-jaman ARR (asli dan yang telah dirata-rata).
5. Mengulangi *trial* nilai konstanta ( $m$ ) Mononobe jika nilai perbedaan hasil hitungan hujan jam-jaman metode Mononobe dan hujan jam-jaman ARR (asli dan yang telah dirata-rata) masih besar.
6. Melakukan perhitungan pada data ARR yang lain.

Perhitungan simulasi konstanta ( $m$ ) Mononobe dengan metode ABM adalah sebagai berikut:

1. Menjumlahkan hujan jam-jaman untuk dijadikan hujan harian.
2. *Trial* nilai konstanta ( $m$ ) Mononobe.
3. Menghitung hujan jam-jaman dengan metode ABM.
4. Membandingkan hasil hitungan hujan jam-jaman metode ABM dan hujan jam-jaman ARR (asli dan yang telah dirata-rata).
5. Mengulangi *trial* nilai konstanta ( $m$ ) Mononobe jika nilai perbedaan hasil hitungan hujan jam-jaman metode ABM dan hujan jam-jaman ARR (asli dan yang telah dirata-rata) masih besar.
6. Melakukan perhitungan pada data ARR yang lain.

Perhitungan kalibrasi koefisien ( $C$ ) adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis peta DAS Tirtomoyo sehingga diketahui luasannya.
2. Menghitung waktu konsentrasi DAS Tirtomoyo.
3. Membagi DAS Tirtomoyo menjadi *isochrone-isochrone* sesuai nilai waktu konsentrasi.
4. Mencari pasangan data AWLR (pengamatan) dan data ARR pada waktu yang sama.
5. Menghitung debit dari data AWLR menggunakan rumus *rating curve*.
6. Menggambarkan hidrograf aliran dari pengamatan.
7. Mengubah-ubah nilai koefisien  $C$  untuk tiap *isochrone* disesuaikan pada data tata guna lahan yang ada.
8. Menghitung debit analisis dengan metode *time-area*.
9. Membandingkan antara hidrograf aliran hasil terhitung dan terukur dengan melihat persentase kesalahan perbedaan debit puncak, volume, dan waktu puncak.
10. Mengulangi tahapan perhitungan nomor 7 jika nilai hasil persentase kesalahan perbedaan debit puncak, volume, dan waktu puncak masih besar.
11. Melakukan perhitungan pada data ARR yang lain.

Perhitungan kalibrasi konstanta ( $m$ ) Mononobe adalah sebagai berikut:

1. Menghitung intensitas hujan dengan metode Mononobe.
2. *Trial* nilai konstanta ( $m$ ) Mononobe.
3. Menghitung debit analisis dengan metode *time-area* menggunakan nilai koefisien  $C$  yang telah dikalibrasi.
4. Membandingkan antara hidrograf aliran hasil terhitung dan terukur dengan melihat persentase kesalahan perbedaan debit puncak, volume, dan waktu puncak.
5. Mengulangi *trial* nilai konstanta ( $m$ ) Mononobe jika nilai persentase kesalahan perbedaan debit puncak, volume, dan waktu puncak masih besar.
6. Melakukan perhitungan pada data ARR yang lain.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Data hujan yang digunakan pada studi adalah data ARR atau data hujan jam-jaman otomatis. Data hujan jam-jaman ini berada di stasiun hujan Tirtomoyo. Untuk data debit AWLR menggunakan AWLR Tirtomoyo.

### Kalibrasi Model Hujan Metode Mononobe

Hasil selisih antara hujan analisis dan pengamatan (berupa data ARR asli) dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Selisih Hujan Analisis dan Pengamatan (berupa Data ARR Asli) pada Hujan Tanggal 19 Desember 2012

Hujan ke-	$h_a$ (mm)	$h_p$ (mm)	$\Delta h$ (%)
1	6,66	1,10	505,68

2	5,77	19,60	70,56
3	5,48	2,20	148,88

Tabel 3. Selisih Hujan Analisis dan Pengamatan (berupa Data ARR Asli) pada Hujan Tanggal 19 Desember 2012 (Lanjutan)

Hujan ke-	$h_a$ (mm)	$h_p$ (mm)	$\Delta h$ (%)
4	5,29	0,30	1664,05

Tingkat selisih hujan analisis dan pengamatan bila ditinjau dari persen selisih yang terjadi tidak bisa diterima. Hasil perhitungan kejadian hujan Tanggal 19 Desember 2012 dan perhitungan pada kejadian hujan yang lain tidak bisa diterima.

Untuk perhitungan hasil selisih antara hujan analisis dan pengamatan (berupa data ARR yang telah dirata-rata) dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Selisih Hujan Analisis dan Pengamatan (berupa Data ARR yang telah dirata-rata) pada Hujan Tanggal 19 Desember 2012

Hujan ke-	$h_a$ (mm)	$h_p$ (mm)	$\Delta h$ (%)
1	6,66	5,95	11,97
2	5,77	9,52	39,37
3	5,48	6,51	15,86
4	5,29	1,23	331,64

Tingkat selisih hujan analisis dan pengamatan hujan ke-1 dan 3, bila ditinjau dari persen selisih yang terjadi bisa diterima. Akan tetapi untuk tingkat selisih hujan analisis dan pengamatan hujan ke-2 dan 4 tidak bisa diterima karena melebihi 20%. Hasil perhitungan kejadian hujan Tanggal 19 Desember 2012 dan perhitungan pada kejadian hujan yang lain tidak bisa diterima.

#### Kalibrasi Model Hujan Metode ABM

Hasil selisih antara hujan analisis dan pengamatan (berupa data ARR asli) dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Selisih Hujan Analisis dan Pengamatan (berupa Data ARR Asli) pada Hujan Tanggal 19 Desember 2012

Hujan ke-	$h_a$ (mm)	$h_p$ (mm)	$\Delta h$ (%)
1	5,48	1,10	397,75
2	6,66	19,60	66,01
3	5,77	2,20	162,28
4	5,29	0,30	1664,05

Tingkat selisih hujan analisis dan pengamatan kejadian hujan bila ditinjau dari persen selisih yang terjadi tidak bisa diterima. Hasil perhitungan kejadian hujan Tanggal 19 Desember 2012 dan perhitungan pada kejadian hujan yang lain tidak bisa diterima.

Untuk perhitungan hasil selisih antara hujan analisis dan pengamatan (berupa data ARR yang telah dirata-rata) dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Selisih Hujan Analisis dan Pengamatan (berupa Data ARR yang telah dirata-rata) pada Hujan Tanggal 19 Desember 2012

Hujan ke-	$h_a$ (mm)	$h_p$ (mm)	$\Delta h$ (%)
1	5,48	5,95	7,98

2	6,66	9,52	30,02
3	5,77	6,51	11,37

Tabel 6. Selisih Hujan Analisis dan Pengamatan (berupa Data ARR yang telah dirata-rata) pada Hujan Tanggal 19 Desember 2012 (Lanjutan)

Hujan ke-	$h_a$ (mm)	$h_p$ (mm)	$\Delta h$ (%)
4	5,29	1,23	330,26

Tingkat selisih hujan analisis dan pengamatan hujan ke-1 dan 3, bila ditinjau dari persen selisih yang terjadi bisa diterima. Akan tetapi untuk tingkat selisih hujan analisis dan pengamatan hujan ke-2 dan 4 tidak bisa diterima karena melebihi 20%. Hasil perhitungan kejadian hujan Tanggal 19 Desember 2012 dan perhitungan pada kejadian hujan yang lain tidak bisa diterima.

### Koefisien Aliran (C)

Hasil selisih antara volume, debit puncak, dan waktu puncak, seperti terlihat pada Tabel 7. berikut:

Tabel 7. Selisih Volume, Debit Puncak, dan Waktu Puncak pada Hidrograf Pasangan Hujan Tanggal 19-20 Desember 2012

	Volume (m <sup>3</sup> )	Debit Puncak (m <sup>3</sup> /dt)	Waktu Puncak (Jam)
<b>Terukur</b>	15979705,27	630,26	5
<b>Terhitung</b>	2176921,92	268,59	5
<b>(%) Selisih</b>	86,38	57,38	0,00

Sebelum dilakukan kalibrasi koefisien aliran (C), maka didapat nilai (C) pada tiap-tiap *isochrone* yaitu pada *isochrone* 1 = 0,55, *isochrone* 2 = 0,54, *isochrone* 3 = 0,52, *isochrone* 4 = 0,44 dengan tingkat selisih volume, debit puncak, dan waktu puncak pada ketiga pasangan hujan, bila ditinjau dari persen selisih yang terjadi tidak bisa diterima. Hasil perhitungan kejadian hujan Tanggal 19 Desember 2012 dan perhitungan pada kejadian hujan yang lain tidak bisa diterima.

### Kalibrasi Koefisien Aliran (C)

Hasil selisih antara volume, debit puncak, dan waktu puncak, seperti terlihat pada Tabel 8. berikut:

Tabel 8. Selisih Volume, Debit Puncak, dan Waktu Puncak pada Hidrograf Pasangan Hujan Tanggal 19-20 Desember 2012

	Volume (m <sup>3</sup> )	Debit Puncak (m <sup>3</sup> /dt)	Waktu Puncak (Jam)
<b>Terukur</b>	15979705,27	630,26	5
<b>Terhitung</b>	3545842,94	474,79	5
<b>(%) Selisih</b>	77,81	24,67	0,00

Setelah dilakukan kalibrasi koefisien aliran (C), maka didapat nilai (C) pada tiap-tiap *isochrone* yaitu pada *isochrone* 1 = 0,75, *isochrone* 2 = 0,80, *isochrone* 3 = 0,78, dan *isochrone* 4 = 0,78 dengan tingkat selisih volume, debit puncak, dan waktu puncak pada ketiga pasangan hujan, bila ditinjau dari persen selisih yang terjadi tidak bisa diterima. Hasil perhitungan kejadian hujan Tanggal 19 Desember 2012 dan perhitungan pada kejadian hujan yang lain tidak bisa diterima.

### Analisis Konstanta (m) Mononobe

Hasil selisih antara volume, debit puncak, dan waktu puncak, seperti terlihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Selisih Volume, Debit Puncak, dan Waktu Puncak pada Hidrograf Pasangan Hujan Tanggal 19-20 Desember 2012

	Volume (m <sup>3</sup> )	Debit Puncak (m <sup>3</sup> /dt)	Waktu Puncak (Jam)
<b>Terukur</b>	15979705,27	630,26	3
<b>Terhitung</b>	487838,14	73,46	4
<b>(%) Selisih</b>	96,95	88,35	33,33

Sebelum dilakukan kalibrasi konstanta ( $m$ ) Mononobe, didapat tingkat selisih volume, debit puncak, dan waktu puncak pada ketiga pasangan kejadian hujan, bila ditinjau dari persen selisih yang terjadi tidak bisa diterima.

### Kalibrasi Konstanta ( $m$ ) Mononobe

Hasil kalibrasi konstanta ( $m$ ) Mononobe selisih antara volume, debit puncak, dan waktu puncak, seperti terlihat pada Tabel 10. berikut:

Tabel 10. Selisih Volume, Debit Puncak, dan Waktu Puncak pada Hidrograf Pasangan Hujan Tanggal 19-20 Desember 2012

	Volume (m <sup>3</sup> )	Debit Puncak (m <sup>3</sup> /dt)	Waktu Puncak (Jam)
<b>Terukur</b>	15979705,27	630,26	3
<b>Terhitung</b>	741044,65	111,58	4
<b>(%) Selisih</b>	95,36	82,30	33,33

Setelah dilakukan kalibrasi konstanta ( $m$ ) Mononobe, didapat tingkat selisih volume, debit puncak, dan waktu puncak pada ketiga pasangan kejadian hujan, bila ditinjau dari persen selisih yang terjadi tetap tidak bisa diterima. Hasil perhitungan ketiga pasangan kejadian hujan untuk konstanta  $m = 0,7-0,9$  tidak bisa diterima dengan nilai selisih volume, debit puncak, dan waktu puncak yaitu antara 33,33% sampai dengan 97,69%.

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, terdapat beberapa kemungkinan hasil kalibrasi tidak bisa diterima. Pertama, ketidaksesuaian rumus *rating curve* dengan keadaan tampang sungai pada saat ini. Pengolahan data liku kalibrasi Sungai Tirtomoyo selama ini belumlah berjalan dengan maksimal karena sejak tahun 1996 hingga sekarang persamaan liku kalibrasi belum diperbarui. Selain itu, data AWLR yang ada hanya berada pada hilir DAS Tirtomoyo sedangkan pada hulu tidak terdapat AWLR, ini yang mengakibatkan debit puncak, waktu puncak, dan volume tidak cocok antara pengukuran dan perhitungan. Kedua, stasiun AWLR terletak di mulut waduk sehingga kemungkinan terpengaruh oleh tinggi muka air waduk.

### SIMPULAN

1. Hasil kalibrasi konstanta ( $m$ ) Mononobe untuk mengubah hujan harian menjadi hujan jam-jaman tidak bisa diterima karena perbedaan selisih volume, debit puncak, dan waktu puncak yang sangat besar yaitu antara 21,54% sampai dengan 13876,95%. Menurut Sofyan dkk. (1995) menetapkan bahwa kesalahan hidrograf banjir sebesar 10-20%.
2. Hasil kalibrasi koefisien  $C$  pada pengalihragaman hujan menjadi aliran menggunakan data ARR tidak bisa diterima karena perbedaan selisih volume, debit puncak, dan waktu puncak yang sangat besar yaitu antara 24,67% sampai dengan 77,81%.
3. Hasil kalibrasi konstanta ( $m$ ) Mononobe pada pengalihragaman hujan menjadi aliran menggunakan intensitas hujan Mononobe tidak bisa diterima karena perbedaan selisih volume, debit puncak, dan waktu puncak yang sangat besar yaitu antara 33,33% sampai dengan 97,69%.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Saya ucapkan terimakasih kepada ibu Sobriyah dan bapak Agus Hari Wahyudi atas banyak diskusi dan saran hingga selesainya skripsi ini.

## REFERENSI

- Chow, V.T., Maidment, D.R., and Mays, L.W., 1988, *Applied Hydrology*, Mc. Graw Hill International Edition, Civil Engineering Series.
- Febrina Girsang, 2007, *Analisis Curah Hujan untuk Pendugaan Debit Puncak dengan Metode Rasional pada DAS Belawan Kabupaten Deli Serdang*, Tugas Akhir, Departemen Teknologi Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Sumatera Utara, Sumatera Utara.
- Fennani Arpan, 2004, *Verifikasi Konstanta pada Rumus Mononobe dalam Perhitungan Intensitas Curah Hujan; Studi Kasus Stasiun Hujan Darmaga Bogor*, Jurnal Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Trisakti, Jakarta.
- Iman Subarkah, 1978, *Hidrologi untuk Perencanaan Bangunan Air*, Idea Dharma, Bandung.
- Irfan B.P., Nining W., dan Agus Wuryanta, 2010, *Penerapan Metode Rasional untuk Estimasi Debit Puncak pada Beberapa Luas Sub DAS*, Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam, Balai Penelitian Kehutanan, Solo.
- Kirpich, Z.P., 1940, *Time of Concentration of Small Agricultural Watersheds*, Civil Engineering 10 (6), 362, The Original Source for the Kirpich Equation.
- Nursaleh, 2010, *Analisis Ketelitian Rumus Empiris Intensitas-Durasi-Frekuensi Hujan untuk Hitungan Banjir Rancangan; Studi Kasus di Lereng Gunung Merapi*, Tesis, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Ponce, V.M., 1989, *Engineering Hydrology Principles and Practices*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Sobriyah, 2012, *Model Hidrologi*, Cetakan 1, UNS Press, Surakarta.
- Soewarno, 2000, *Hidrologi Operasional Jilid kesatu*, PT. Aditya Bakti, Bandung.
- Sofyan Dt., Moh Arief I., dan Rustam Effendy, 1995, *Pengaruh Perubahan Karakteristik Basin terhadap Hidrograph Banjir*, Seminar Fenomena Perubahan Watak Banjir, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Suripin, 2003, *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*, Andi, Yogyakarta.