

ANALISIS TINGGI MUKA AIR WADUK WONOGIRI BERDASARKAN DATA HUJAN JAM-JAMAN

Gathot Bayu Ariansyah¹⁾, Sobriyah²⁾, Agus Hari Wahyudi³⁾

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

²⁾, ³⁾ Pengajar Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret Surakarta

Jln. Ir. Sutami 36A Surakarta 57126; Telp. 0271-634524. Email: gathotbayuariansyah@yahoo.com

Abstract

Wonogiri Multipurpose Dam is located in Central Java Province Wonogiri at coordinates 110 ° 92" 75 'east longitude and 7 ° 83" 78' south latitude, located to the south of the district capital Wonogiri. Wonogiri dams built since 1976 and began operations in 1982. Ardy Eka (2012) found the research on Wonogiri reservoir found the equality relationship between daily rainfall in the Wonogiri watershed with the volume of water reservoirs and reservoir outflow with correlation² values many not close to 1, This calculation does not correspond to the reality of field observations. Based on these problems need to studies to analyze the water level of Wonogiri reservoir based on hourly rainfall gauge. The research was conducted by the division of Wonogiri watershed to 7 Sub watershed, which are watershed of Keduang, Bengawan Solo Hulu, Alang, Temon, Ngunggahan, Tirtomoyo, and Wuryantoro. Rainfall gauge to the 7 watershed was analyzed by following the nearest station Automatic Rainfall Recorder (ARR). The Calculation of discharge to 7 watershed used Rational or Time-Area method. Run off hydrograph from 7 to watershed then summed. Reservoir volume calculation is then converted into the reservoir water level by using the elevation-volume relationship curve and elevation-wide reservoir inundation Wonogiri reservoir. Water level hydrograph analysis results compared to the hydrograph of water level observations. If the comparison is not close to the same value, then the calculation is repeated by way of trial and error to change the value of C (run off coefficient) until the results are close to the same. If the comparison value is approximately equal, the analysis considered complete calculation. The results showed that the inflow hydrograph of reservoir based on hourly rainfall gauge is compared with the inflow hydrograph observations get a small difference. The difference in volume between -11.59% to 17.22%. These results indicate that differences occur acceptable. Changes in the depth of the reservoir water level every hour due to the reservoir inflow and Wonogiri outflow get the result between - 0.0037 m to 0, 0359 m. Comparison of water level hydrograph analysis with hydrograph of water level observations get a small difference in the results between - 0.0362 m to 0.0743 m. Therefore these results can be accepted.

Keywords: rain, the volume of the reservoir, the reservoir water level.

Abstrak

Bendungan Serbaguna Wonogiri terletak di Kabupaten Wonogiri Provinsi Jawa Tengah pada koordinat 110° 92"75' BT dan 7°83"78' LS, berada disebelah selatan ibu kota Kabupaten Wonogiri. Bendungan Wonogiri dibangun sejak tahun 1976 dan mulai beroperasi pada tahun 1982. Ardy Eka (2012) dalam penelitiannya di Waduk Wonogiri mendapatkan persamaan hubungan antara hujan harian di Daerah Aliran Sungai Wonogiri dengan volume air waduk dan outflow waduk dengan nilai r² banyak yang tidak mendekati 1, maka perhitungan ini tidak sesuai dengan kenyataan di lapangan. Berdasarkan permasalahan tersebut perlu dilakukan penelitian untuk menganalisis tinggi muka air Waduk Wonogiri berdasarkan data hujan jam-jaman. Penelitian ini dilakukan dengan pembagian DAS Waduk Wonogiri menjadi 7 DAS, yaitu di DAS Keduang, Bengawan Solo Hulu, Alang, Temon, Ngunggahan, Tirtomoyo, dan Wuryantoro. Data hujan ke-7 DAS dianalisis dengan mengikuti stasiun ARR (*Automatic Rainfall Recorder*) terdekat. Perhitungan debit ke-7 DAS dianalisis menggunakan metode Rasional atau *Time-Area*. Hidrograf aliran dari ke-7 DAS kemudian dijumlahkan. Volume waduk hasil perhitungan kemudian diubah ke dalam tinggi muka air waduk dengan menggunakan kurva hubungan elevasi-volume waduk dan elevasi-luas genangan Waduk Wonogiri. Hidrograf tinggi muka air hasil analisis dibandingkan dengan hidrograf tinggi muka air hasil pengamatan. Jika hasil perbandingan nilainya tidak mendekati sama, maka perhitungan diulangi dengan cara mencoba-coba mengubah nilai C (koefisien aliran) sampai hasilnya mendekati sama. Jika hasil perbandingan nilainya mendekati sama, maka analisis perhitungan dianggap selesai. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hidrograf aliran sungai yang masuk di Waduk Wonogiri hasil hitungan berdasarkan data hujan jam-jaman jika dibandingkan dengan hidrograf aliran hasil pengamatan mendapatkan perbedaan selisih volume yang kecil yaitu antara -11,59 % sampai dengan 17,22 %. Hasil ini mengindikasikan perbedaan yang terjadi bisa diterima. Perubahan kedalaman muka air waduk tiap jam akibat aliran sungai-sungai yang masuk dan *outflow* di Waduk Wonogiri mendapatkan hasil yaitu antara - 0,0037 m sampai 0, 0359 m. Perbandingan hidrograf tinggi muka air hasil analisis dengan hidrograf tinggi muka air hasil pengamatan mendapatkan hasil selisih yang kecil yaitu antara - 0,0362 m sampai 0,0743 m. Oleh karena itu hasil tersebut dapat diterima.

Kata kunci: hujan, volume waduk, muka air waduk

PENDAHULUAN

Bendungan Serbaguna Wonogiri terletak di Kabupaten Wonogiri Provinsi Jawa Tengah pada koordinat 110° 92"75' BT dan 7°83"78' LS, berada disebelah selatan ibu kota Kabupaten Wonogiri. Bendungan Wonogiri dibangun sejak tahun 1976 dan mulai beroperasi pada tahun 1982, mempunyai peran sebagai penyedia air irigasi seluas 23.200 Hadi daerah Sukoharjo, Klaten, Karanganyar dan Sragen, pengendali banjir dengan debit *outflow* maksimum 400 m³/detik dan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) dengan kapasitas terpasang 12,4 Mega Watt yang dikelola oleh Perum Jasa Tirta I (PJT I) Bengawan Solo. Bendungan Wonogiri mempunyai daerah aliran sungai(DAS) yang terbagi dalam 7 sub DAS. Ardy Eka D (2012) dalam penelitiannya di waduk wonogiri

mendapatkan persamaan hubungan antara hujan harian di DAS wonogiri dengan volume air waduk dan outflow waduk. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa variasi nilai r² mendapatkan hasil antara 0,0077 – 1. Dikarenakan nilai r² banyak yang tidak mendekati 1, maka perhitungan ini tidak sesuai dengan kenyataan di lapangan. Berdasarkan permasalahan tersebut perlu dilakukan penelitian untuk menganalisis tinggi muka air Waduk Wonogiri berdasarkan data hujan jam-jaman. Dengan demikian rumusan masalahnya adalah bagaimanakah hidrograf aliran sungai yang masuk di Waduk Wonogiri berdasarkan data hujan jam-jaman?, berapakah perubahan kedalaman muka air waduk tiap jam akibat aliran sungai-sungai yang masuk di Waduk Wonogiri dan *outflow*?, apakah hidrograf tinggi muka air hasil analisis mendekati hidrograf tinggi muka air hasil pengamatan?. Tujuannya adalah mendapatkan hidrograf aliran sungai yang masuk di Waduk Wonogiri berdasarkan data hujan jam-jaman, mendapatkan perubahan kedalaman muka air waduk tiap jam akibat aliran sungai-sungai yang masuk di Waduk Wonogiri dan *outflow*, mendapatkan perbandingan antara hidrograf tinggi muka air hasil analisis dengan hidrograf tinggi muka air hasil pengamatan. Hasil yang diharapkan adalah dapat memprediksi volume air waduk akibat hujan di DAS Waduk Wonogiri, sehingga dapat diketahui kenaikan tinggi muka air akibat aliran tersebut.

Rating Curve

Rating Curve adalah lengkung debit yang menggambarkan hubungan antara duga air H dengan Q. Rating curve dibuat untuk setiap tahun, namun karena data penguuran kecepatan aliran belum tentu dilakukan setiap tahun, maka rating curve ini daat dibuat untuk satu atau sekelompok tahun data pengukuran debit untuk stasiun AWLR (*Automatic Water level Recorder*) pada umumnya mempunyai pengukuran kejadian banjir besar yang hanya sedikit. Hal ini terjadi karena pengukuran pada saat banjir mengandung resiko yang sangat tinggi. Transformasi data rekaman AWLR ke debit aliran dapat dilakukan walaupun dengan data banjir besar yang terbatas. Rumus rating curve DAS Keduang, bengawan Solo Hulu, dan Tirtomoyo didapatkan dari Balai Penelitian Teknologi Kehutanan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Surakarta Propinsi Jawa Tengah tahun 1996, yang persamaannya dapat ditulis sebagai berikut:

- a. Debit dilokasi AWLR Keduang:
 $Q = 35,17 \times H^{2,228}$ [1]
- b. Debit dilokasi AWLR Bengawan Solo Hulu:
 $Q = 91,20 \times H^{2,228}$ [2]
- c. Debit dilokasi AWLR Tirtomoyo:
 $Q = 69,50 \times H^{2,228}$ [3]

Waktu Konsentrasi

Waktu Konsentrasi suatu DAS adalah waktu yang diperlukan oleh air hujan untuk mengalir dari titik terjauh sampai ketempat keluaran DAS (titik kontrol) setelah tanah menjadi jenuh dan depresi-depresi kecil terpenuhi. Salah satu metode yang digunakan untuk memperkirakan waktu konsentrasi adalah rumus yang dikembangkan oleh Kirpich, (1940), yang persamaannya dapat ditulis sebagai berikut:

$$t_c = \left(\frac{0,87 \times L^2}{1000 \times S} \right)^{0,385} \dots\dots\dots [4]$$

dengan:

- tc = Waktu konsentrasi (Jam),
- L = Panjang saluran utama dari hulu sampai penguras (km),
- S = Kemiringan rata-rata saluran utama (mm).

Metode Rasional

Metode ini paling umum digunakan karena simpel dan mudah. Penggunaannya terbatas untuk DAS-DAS dengan ukuran kecil yaitu kurang dari 300 ha (Goldman et.al., 1986 dalam Suripin, 2004.)

$$Q_p = 0.278 \times C \times I \times A \dots\dots\dots [5]$$

- dengan Q_p : laju permukaan(debit) puncak (m³/detik),
- C : koefisien aliran permukaan (0 < C < 1),
- I : intensitas rata-rata hujan (mm/jam),
- A : luas DAS (km²).

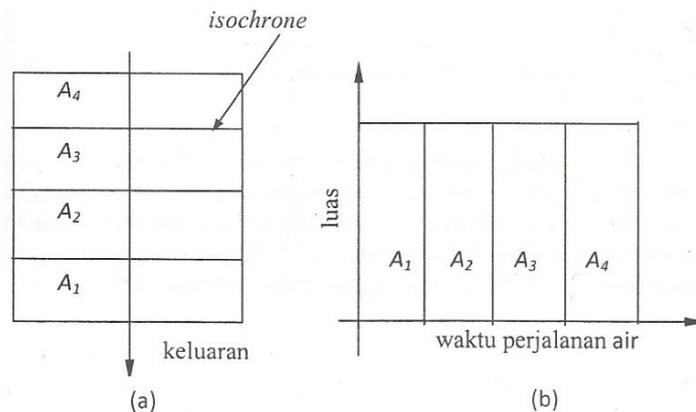
Koefisien C adalah nisbah antara puncak aliran permukaan terhadap intensitas hujan. Faktor ini merupakan variabel yang paling menentukan hasil perhitungan debit banjir. Harga C untuk berbagai jenis lahan ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 1. Koefisien Aliran (C)

Tata guna lahan	Loam 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

Metode Time – Area

Pada dasarnya metode time-area merupakan pengembangan metode Rasional yang tetap berprinsip pada konsentrasi aliran, tetapi dapat digunakan untuk hujan yang kompleks, metode ini dapat diterapkan pada DAS Sedang (DAS Keduang). Daerah Aliran Sungai dibagi menjadi sub DAS – sub DAS oleh isochrone yang mempunyai waktu perjalanan air (travel time) yang sama. Setiap sub DAS diukur luasnya dan digambarkan sebagai histogram. Besarnya travel time yang digunakan disamakan dengan interval waktu hyetograph hujannya.



Gambar 1. Metode *time-area*
 (a) *isochrone* DAS
 (b) histogram luasan waktu

Water Balance

Secara umum Chow, V. T. (1964) merumuskan water balance di waduk sebagai berikut :

$$I - O = \Delta S \dots\dots\dots [6]$$

dengan :

- I = *Inflow* (aliran masuk),
- O = *Out flow* (aliran keluar / kehilangan),
- ΔS = *Change in storage* (perubahan tampungan).

Kalibrasi Hasil Analisis

Model yang dikembangkan untuk hubungan antara nilai aliran yang masuk dan *outflow* di DAS waduk dengan volume air di waduk disusun untuk mensimulasikan proses aliran permukaan yang ada di alam. Keluaran alam mampu mendekati kejadian hujan yang sebenarnya. Namun demikian, model hampir tidak mungkin dapat mensimulasikan proses di alam dengan tepat. Oleh karena itu akan selalu ada penyimpangan antara hasil keluaran model dan perhitungan di lapangan. Suatu proses kalibrasi yang menghasilkan keluaran simulasi yang persis sama dengan catatan hasil pengamatan tentunya tidak mungkin akan tercapai. Permasalahan yang biasa timbul dalam proses kalibrasi adalah tingkat kesesuaian antara keluaran hitungan dengan hasil pengamatan. Tingkat kesesuaian ini ditinjau dari % kesalahan yang terjadi dan disarankan sekecil mungkin tanpa menyebut suatu nilai (Fleming, 1975; HEC-1, 1990). Ruh-Ming Li (1974) menyebutkan bahwa kesalahan <12 % masih dianggap baik, sehingga dapat diterima. Wang, G.T., dkk. (1992) menganggap bahwa RSE (relatif squared error) yang berkisar antara 0,157% sampai 11,67% masih dapat diterima, Sofyan dkk. (1995) menetapkan bahwa kesalahan hidrograf banjir hasil simulasi sebesar 10 – 20 % masih dapat diterima (dalam Sobriyah, 2012).

Tingkat kesesuaian yang perlu dilihat pada persamaan yang berorientasi pada banjir adalah sebagai berikut:

$$\text{Perbedaan (\%)} = \frac{Y_{\text{pengamatan}} - Y_{\text{hitungan}}}{Y_{\text{pengamatan}}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots [7]$$

dengan:

- Perbedaan = Selisih volume antara pengamatan dan hitungan (%),
- Y_{hitungan} = Volume hitungan,
- $Y_{\text{pengamatan}}$ = Volume pengamatan.

Untuk kalibrasi perubahan kedalaman muka air waduk sebagai berikut:

$$H_{\text{terhitung}} = \frac{\text{Volume } A_i - \text{Pengambilan Air}}{L}$$

dengan :

- $H_{\text{terhitung}}$ = Perubahan Kedalaman Muka Air Waduk,
- A_i = Volume $A_1, A_2, A_3, A_4 \dots$ dst,
- Pengambilan Air = *Outflow*
- L = Luas Genangan Waduk.

METODE PENELITIAN

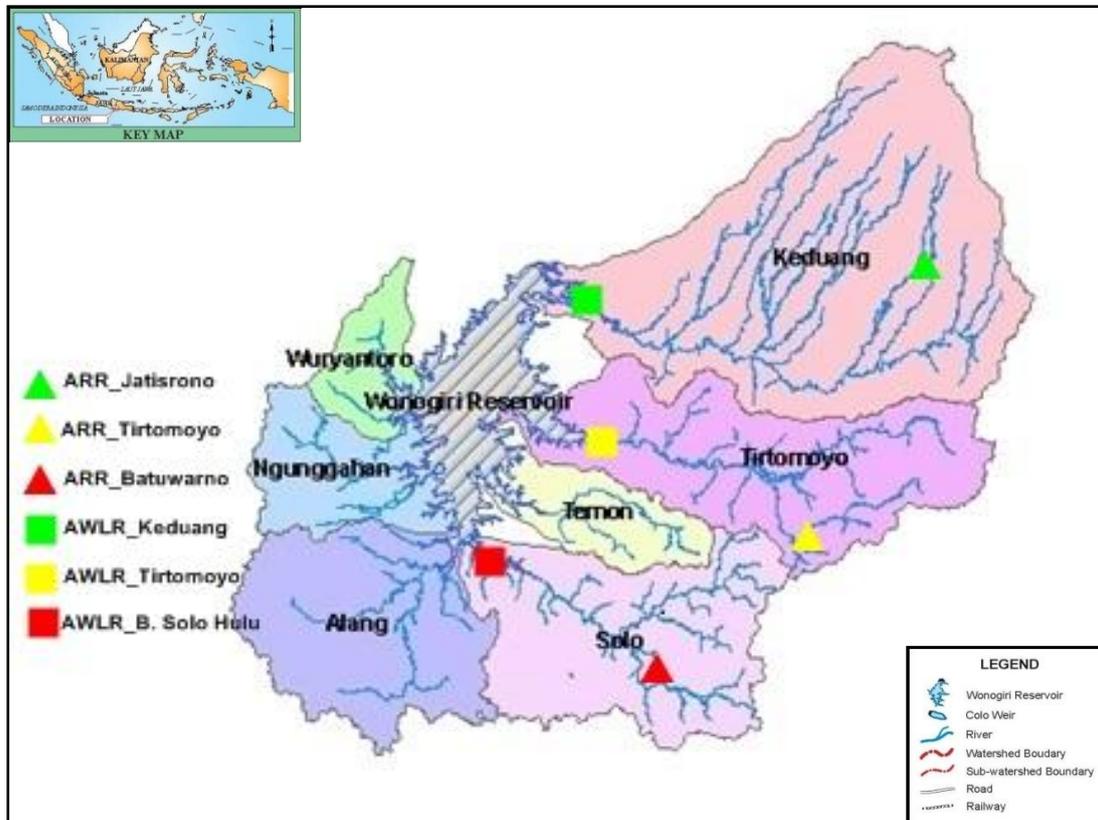
Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa data sekunder atau data yang telah diukur, dicatat, dan didesain oleh instansi terkait. Data sekunder tersebut kemudian diolah menjadi data yang siap digunakan untuk analisis selanjutnya, sehingga dapat mencapai tujuan yang sesuai dengan tujuan penelitian.

Adapun tahap-tahap analisisnya adalah sebagai berikut:

1. Hujan wilayah ke 7 DAS (Keduang, Tirtomoyo, Temon, Bengawan Solo, Alang, Ngunggahan, dan Wuryantoro) tidak dianalisis dengan metode poligon thiessen tetapi mengikuti stasiun ARR terdekat.
2. Perhitungan debit aliran sungai Keduang, Tirtomoyo, Temon, Bengawan Solo, Alang, Ngunggahan, dan Wuryantoro menggunakan metode rasional atau *time-area* dengan memasukkan data hujan jam-jaman. Hasil dari perhitungan berupa hidrograf aliran.
3. Hidrograf aliran dari sungai Keduang, Tirtomulyo, Temon, Solo Hulu, Alang, Ngunggahan, dan Wuryantoro dijumlahkan. Hidrograf ini merupakan masukan ke Waduk Wonogiri.
4. Pada setiap Δt dianalisis volume waduk yang terjadi dengan menggunakan Water Balance Waduk (Pers. 6).
5. Volume waduk hasil perhitungan no. 4 diubah ke dalam tinggi muka air dengan menggunakan kurva hubungan elevasi-volume waduk dan elevasi-luas genangan Waduk Wonogiri. Hasil dari analisis ini berupa hidrograf tinggi muka air.
6. Hidrograf tinggi muka air analisis dibandingkan dengan Hidrograf tinggi muka air pengamatan.
7. Jika hasil perbandingan no. 6 nilainya tidak mendekati sama, maka perhitungan diulangi dari no.2 dengan cara mencoba-coba mengubah nilai C sampai hasilnya mendekati sama.
8. Jika hasil perbandingan no.6 nilainya mendekati sama, maka analisis perhitungan dianggap selesai.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data hujan yang digunakan pada hidrograf aliran sungai yang masuk di Waduk Wonogiri adalah data Automatic Rainfall Recorder (ARR) atau data hujan jam-jaman. Data hujan jam-jaman ini dari data yang tersedia berada di stasiun hujan Jatisrono, Batuwarno, dan Tirtomoyo. Untuk data debit Automatic Water level Recorder (AWLR) menggunakan AWLR Keduang, AWLR Bengawan Solo Hulu, dan AWLR Tirtomoyo. Letak stasiun ARR dan AWLR dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2. Letak Stasiun ARR dan AWLR

Hidrograf Aliran Berdasarkan Data Hujan Jam-Jaman

Hasil hidrograf aliran sungai yang masuk di waduk wonogiri hasil hitungan berdasarkan data hujan jam-jaman dengan hidrograf aliran hasil pengamatan:

Tabel 2. Perbedaan Hidrograf Aliran DAS Keduang yang Masuk di Waduk Wonogiri Tanggal 14-15 Februari 2011

	Volume (m ³)	Debit puncak (m ³ /dt)
Terukur	2.009.179,15	111,76
Terhitung	2.054.795,97	123,42
(%) Selisih	- 2,27	- 10,44

Tabel 3. Perbedaan Hidrograf Aliran DAS Keduang yang Masuk di Waduk Wonogiri Tanggal 14-15 Desember 2011

	Volume (m ³)	Debit puncak (m ³ /dt)
Terukur	2.577.883,58	152,75
Terhitung	2.876.714,35	147,86
(%) Selisih	-11,59	3,20

Tabel 4. Perbedaan Hidrograf Aliran DAS Bengawan Solo Hulu yang Masuk di Waduk Wonogiri Tanggal 14-15 Desember 2012

	Volume (m ³)	Debit puncak (m ³ /dt)
Terukur	1.980.252,00	149,83
Terhitung	1.939.240,49	147,37
(%) Selisih	2,07	1,64

Tabel 5. Perbedaan Hidrograf Aliran DAS Tirtomoyo yang Masuk di Waduk Wonogiri Tanggal 14-15 Desember 2011

	Volume (m ³)	Debit puncak (m ³ /dt)
Terukur	1.171.046,48	107,22
Terhitung	969.380,46	101,23
(%) Selisih	17,22	5,59

Dilihat dari Tabel di atas, maka didapat nilai (C) pada tiap-tiap *isochrone* dengan tingkat perbandingan volume pada keempat pasangan kejadian pasangan hujan, bila ditinjau dari persen perbandingan selisih yang terjadi bisa diterima

Analisis Tinggi Muka Air Waduk

Data hujan yang digunakan untuk menganalisis kedalaman muka air waduk menggunakan data hujan jam-jaman dari 3 stasiun hujan yaitu Jatisrono, Batuwarno dan Tirtomoyo dari tahun 2009-2010. Pemilihan data hujan didasarkan pada kejadian hujan yang sama baik tanggal, bulan dan tahun berpasangan dengan AWLR dan *Outflow* waduk. Dikarenakan dalam analisis ini hanya tersedia data 3 stasiun hujan, maka untuk data hujan pada DAS mengikuti stasiun hujan terdekat. Untuk DAS Keduang mengikuti data stasiun hujan jatisrono. Untuk DAS Bengawan Solo Hulu, Alang, Temon, Ngunggahan, dan Wuryantoro mengikuti data stasiun hujan batuwarno. Untuk DAS Tirtomoyo mengikuti data stasiun hujan tirtomoyo. Untuk analisis ini ada 2 set data pasangan kejadian hujan jam-jaman, yaitu tanggal 25-26 januari 2009 dan tanggal 7-8 Maret 2010.

Jika sudah dipilih data hujan jam-jaman, kemudian data hujan tersebut dianalisis menggunakan metode time-area. Untuk analisis debit rancangan menggunakan metode time-area digunakan luas area, nilai koefisien C yang sudah dikalibrasi.

Contoh perhitungan metode time-area pada DAS Bengawan Solo Hulu kejadian hujan tanggal 25-26 Januari 2009:

$$Q = 0,278 \times C \times I \times A$$

$$Q = 0,278 \times 0,70 \times 12,50 \times 17,05 \\ = 41,48 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

Setelah penjumlahan debit ke-7 DAS dan dicari volume yang masuk kewaduk tiap jam, maka langkah selanjutnya adalah mencari H terhitung tujuannya untuk menentukan Elevasi Tinggi Muka Air Waduk terhitung.

Untuk menentukan volume A_1, A_2, \dots, dt dihitung dengan rumus luas segitiga dan trapesium. Untuk contoh perhitungannya sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Volume } A_1 &= 0,5 \times Q_{\text{total}} \times \text{jam } 15.00 \times 3600 \\ &= 0,5 \times 246,50 \times 3600 \\ &= 443697,17 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Untuk mencari luas genangan waduk dihitung dengan rumus yang didapat dari Perum Jasa Tirta I yang bekerja sama dengan Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret tahun 2008. Untuk contoh perhitungannya sebagai berikut:

$$\text{Elevasi Tinggi Muka Air Waduk Pengamatan} = 133,19 \text{ m}$$

$$x = \text{Elevasi Tinggi Muka Air Waduk Pengamatan}$$

$$y = \text{Luas Genangan Waduk}$$

$$y_1 = (2761,41 - (45,6579 \times x)) + (0,194976 \times x^2)$$

$$= (2761,41 - (45,6579 * 133,19)) + (0,194976 * 133,19^2)$$

$$= 49,025889 \text{ km}^2 = 49025889 \text{ m}^2$$

Setelah Volume An, Pengambilan Air atau *outflow*, dan Luas Genangan Waduk diketahui, maka langkah selanjutnya adalah menghitung H terhitung. Untuk contoh perhitungannya sebagai berikut:

$$H_1 = \frac{443697,17 - 152856}{49025889}$$

$$H_1 = 0,0059 \text{ m}$$

Langkah selanjutnya setelah H terhitung diketahui maka untuk Elevasi Tinggi Muka Air terhitung dapat dicari dengan cara H terhitung ditambahkan dengan Elevasi Tinggi muka Air pengamatan, selanjutnya untuk mencari Elevasi Tinggi Muka Air terhitung dengan cara persilangan. Untuk contoh perhitungannya sebagai berikut:

$$H_1 = 0,0059 \text{ m}$$

$$\text{Elevasi TMAW}_{\text{hitungan}} = 133,19 \text{ m}$$

$$H_2 = 0,0244 \text{ m}$$

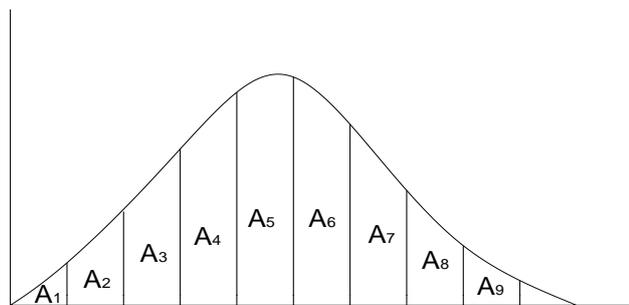
$$\text{Elevasi TMAW}_{\text{lapangan}} = 133,19 \text{ m}$$

$$\text{Elevasi TMAW}_{\text{hit 15.00}} = 0,0059 + 133,19$$

$$= 133,1959 \text{ m}$$

$$\text{Elevasi TMAW}_{\text{hit 16.00}} = 0,0244 + 133,1959$$

$$= 133,2203 \text{ m}$$



Gambar 3. Segmen Hidrograf

Tabel 6. Perbandingan Elevasi Tinggi Muka Air Waduk Terhitung dan Elevasi Tinggi Muka Air Waduk Pengamatan Pasangan Hujan 25-26 Januari 2009

T	Segmen Hidrograf	Volume Waduk (m ³)	Outflow (m ³ /jam)	Luas Genangan (m ²)	H Terhitung (m)	Elevasi TMAW _{Hit} (m)	Elevasi TMAW _{Lap} (m)	Selisih (m)
15:00	A1	443697,17	152856	49025889	0,0059	133,1959	133,1900	0,0059
16:00	A2	1348494,81	152856	49025889	0,0244	133,2203	133,1900	0,0303
17:00	A3	1882661,89	152856	49214458	0,0351	133,2555	133,2200	0,0355
18:00	A4	1863897,57	152856	49466431	0,0346	133,2901	133,2600	0,0301
19:00	A5	1237783,98	152856	49529521	0,0219	133,3120	133,2700	0,0420
20:00	A6	616090,45	152856	49466431	0,0094	133,3213	133,2600	0,0613
21:00	A7	502310,31	152856	49592651	0,0070	133,3284	133,2800	0,0484
22:00	A8	466435,90	152856	49719027	0,0063	133,3347	133,3000	0,0347
23:00	A9	345781,55	152856	49592651	0,0039	133,3386	133,2800	0,0586
0:00	A10	173242,30	152856	49782273	0,0004	133,3390	133,3100	0,0290
1:00	A11	78926,18	152856	49782273	-0,0015	133,3375	133,3100	0,0275
2:00	A12	23000,05	152857	48649802	-0,0027	133,3348	133,3200	0,0149

Tabel 7. Perbandingan Elevasi Tinggi Muka Air Waduk Terhitung dan Elevasi Tinggi Muka Air Waduk Pengamatan Pasangan Hujan 7-8 Maret 2010

T	Segmen Hidrograf	Volume Waduk (m ³)	Outflow (m ³ /Jam)	Luas Genangan (m ²)	H _{Terhitung} (m)	Elevasi TMAW _{Hit} (m)	Elevasi TMAW _{Lap} (m)	Selisih (m)
17:00	A1	5886,67	210960	55500672	-0,0037	134,1863	134,1900	-0,0037
18:00	A2	72544,21	210960	55700940	-0,0025	134,1838	134,2200	-0,0362
19:00	A3	706631,60	210960	55700940	0,0089	134,1927	134,2200	-0,0273
20:00	A4	1775882,63	210960	55767774	0,0281	134,2208	134,2300	-0,0092
21:00	A5	2216566,81	210960	55834647	0,0359	134,2567	134,2400	0,0167
22:00	A6	1902063,10	210960	55968510	0,0302	134,2869	134,2600	0,0269
23:00	A7	1096042,98	210960	55834647	0,0159	134,3028	134,2400	0,0628
0:00	A8	373533,28	210960	55834647	0,0029	134,3057	134,2400	0,0657
1:00	A9	133395,23	210960	55767774	-0,0014	134,3043	134,2300	0,0743
2:00	A10	34500,07	210960	55834647	-0,0032	134,3011	134,2400	0,0611

SIMPULAN

Hidrograf aliran sungai yang masuk di Waduk Wonogiri hasil hitungan berdasarkan data hujan jam-jaman jika dibandingkan dengan hidrograf aliran hasil pengamatan mendapatkan perbedaan selisih volume yang kecil yaitu antara -11,59 % sampai dengan 17,22 %. Hasil ini mengindikasikan perbedaan persen selisih yang terjadi bisa diterima karena menurut Sofyan dkk. (dalam Sobriyah, 2012) menetapkan bahwa kesalahan hidrograf banjir sebesar 10-20%. Perubahan kedalaman muka air waduk tiap jam akibat aliran sungai-sungai yang masuk di Waduk Wonogiri dan *outflow* mendapatkan hasil yaitu antara - 0,0037 m sampai 0, 0359 m. Perbandingan hidrograf tinggi muka air hasil analisis dengan hidrograf tinggi muka air hasil pengamatan mendapatkan hasil selisih yang kecil yaitu antara - 0,0362 m sampai 0,0743 m. Hasil ini masih dapat diterima, karena perbandingan antara hidrograf tinggi muka air hasil analisis mendekati dengan hidrograf tinggi muka air hasil pengamatan.

UCAPAN TERIMAKASIH

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

REFERENSI

- Ardaya Eka D. 2012. *Pengaruh Ketebalan Hujan di DAS Waduk Wonogiri Pada Volume Air Waduk*. Skripsi, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret Surakarta, Surakarta.
- Chow, V. T. 1964. *Hidrolika Saluran-Terbuka*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Fleming G., 1990, *Computer Simulation Technique in Hydrology*, Elsevier, New York.
- Ruh-Ming Li, 1974, *Mathematical Modeling of Response from Small Watershed*, Dissertation, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.
- Sobriyah. 2012. *Model Hidrologi*. UNS Press. Surakarta.
- Suripin. (2004). *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Stefan Uhlenbrook, Stefan Roser, Nils Tilch. (2003) : *Hydrological Process Representation at the Meso-scale: the Potential of a Distributed, Conceptual Catchment Model*, Journal of Hydrology, Institut of Hydraulic Engineering, University of Stuttgart, Germany.
- Wang, dkk., 1992, *A Rainfall-runoff Model for Small Watersheds*, Jour. Hydrol. Vol 138, hal. 97-117.