

# PENGEMBANGAN PERANGKAT LUNAK MODEL HUJAN-ALIRAN METODE GIUH

## DEVELOPMENT OF RAINFALL-RUNOFF MODEL SOFTWARE USING GIUH METHOD

<sup>1</sup>Rachmad Jayadi, <sup>2</sup>Akhmad Aminullah, <sup>3</sup>Christopher Triyoso

<sup>1</sup>Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan UGM, rjayadi@ugm.ac.id

<sup>2</sup>Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan UGM, c.triyoso@mail.ugm.ac.id

<sup>1</sup>Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan UGM, akhmadaminullah@ugm.ac.id

### Abstrak

Untuk mengatasi kesulitan dalam perkiraan hidrograf banjir pada DAS tak terukur di DTA Waduk Wonogiri, dilakukan penelitian awal penggunaan hidrograf satuan metode GIUH. Evaluasi ketelitian metode ini menggunakan acuan hidrograf satuan terukur pada empat DAS yang dihitung menggunakan metode Collins, dengan mencermati debit puncak, waktu puncak, dan waktu dasar. Hasil penurunan hidrograf satuan GIUH digunakan untuk hitungan hidrograf banjir menggunakan program aplikasi model hujan-aliran yang dibuat menggunakan compiler Visual Studio. Hasil penelitian menunjukkan bahwa program aplikasi dapat digunakan untuk hitungan hidrograf banjir secara cepat dengan memanfaatkan sistem telemetri data hidrologi real time dan online. Debit puncak hidrograf banjir metode GIUH cenderung underestimated, yaitu antara -9,3% sampai dengan -54,9%. Untuk waktu puncak dan waktu dasar tidak ditemukan pola perbedaan yang spesifik, yaitu antara 11,1% sampai dengan +66,7% dan -6,7% sampai dengan +46,15%. Penelitian lebih lanjut perlu dilakukan dengan mengkaji lebih detil faktor orde sungai tertinggi dan rumus empirik dynamic parameter velocity agar diperoleh hidrograf satuan yang lebih akurat.

**Kata kunci:** Hidrograf satuan, DAS tak terukur, hidrograf inflow waduk, kinerja operasi waduk

### Abstract

*To overcome the difficulties in predicting the flood hydrograph in ungauged watershed of Wonogiri Reservoir catchment area, a preliminary research was carried out on the use of the GIUH unit hydrograph method. The evaluation of the accuracy of this method uses reference unit hydrographs from four watersheds calculated using the Collins method, by observing the peak discharge, peak time and base time. The results of the GIUH unit hydrograph was used to calculate the flood hydrograph using the rainfall-runoff model application program created using the Visual Studio compiler. The results show that the application program can be used to calculate flood hydrographs quickly by inputting data from the telemetry system of real time and online hydrological data. The peak discharge of the flood hydrograph using the GIUH method tends to be underestimated, which is between -9.3% to -54.9%. For the peak time and base time, there is no specific pattern of difference found, with a deviation between 11.1% to + 66.7% and -6.7% to + 46.15%, respectively. To obtain a more accurate unit hydrograph, it is necessary to carry out further research by examining in more detail the highest order river factor and the empirical formula of dynamic parameter velocity.*

**Keywords:** Unit hydrograph, ungauged watershed, reservoir inflow hydrograph, reservoir operation performance

## PENDAHULUAN

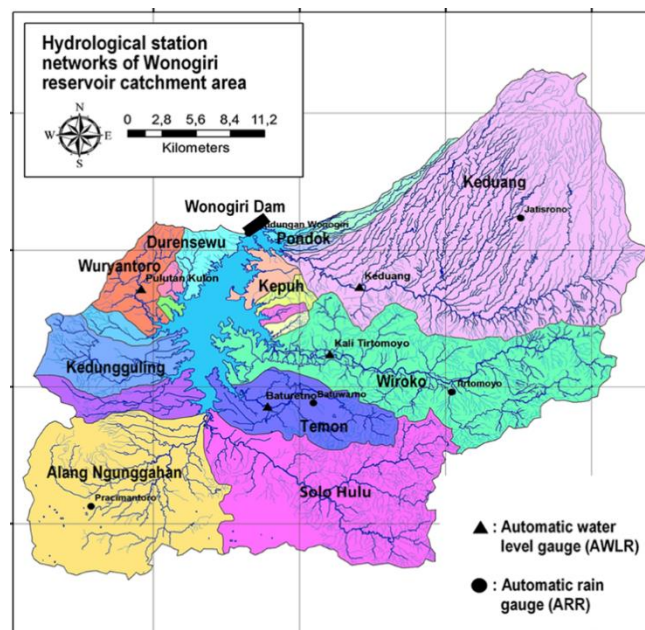
Waduk Wonogiri merupakan salah satu komponen utama sistem pengendali banjir wilayah Sungai Bengawan Solo di bagian hulu. Oleh karena itu ketelitian dan kecepatan dalam memperkirakan hidrograf banjir inflow waduk akibat hujan besar di daerah tangkapan air (DTA) akan sangat mempengaruhi kinerja operasi waduk untuk tujuan pengendalian banjir. Pada DTA Waduk Wonogiri terdapat enam DAS tak terukur dari sepuluh DAS sebagai sumber inflow waduk (Jayadi dkk., 2018).

Penggunaan metode hidrograf satuan terukur yang dianggap paling akurat untuk pemodelan hidrograf banjir tidak dapat diterapkan pada enam DAS tak terukur tersebut, karena tidak tersedia data hidrograf terukur. Untuk mengatasi persoalan ini penurunan hidrograf satuan berdasarkan parameter geomorfologi DAS, yaitu metode Geomorphological Instantaneous Unit Hydrograph (GIUH) merupakan alternatif yang dapat diterapkan (Jotish dkk., 2011). Peran hidrograf satuan sangat penting terkait

dengan kinerja operasi waduk, terutama pada tahap inflow hydrograph forecasting yang hasilnya menjadi pertimbangan dalam penetapan keputusan operasional pengaturan pintu spillway pada operasi waduk periode banjir. Penelitian ini merupakan kajian awal untuk mengetahui prospek penggunaan hidrograf satuan metode GIUH di DTA Waduk Wonogiri. Ketelitian hidrograf satuan dan hasil hitungan hidrograf banjir dievaluasi berdasarkan data terukur yang dihasilkan dari analisis data hujan dan data muka air sungai yang dikonversikan menjadi debit hidrograf jam-jaman.

## METODOLOGI PENELITIAN

DTA Waduk Wonogiri merupakan sistem DAS yang berada di wilayah Sungai Bengawan Solo Hulu terdiri dari 10 DAS dengan luas total 1392,84 km<sup>2</sup>. Gambar 1 menunjukkan peta sistem DAS dan stasiun hidrologi yang ada di DTA Waduk Wonogiri (Jayadi dkk., 2014). Luas dari masing-masing DAS dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 1. Peta Sistem DAS dan Stasiun Hidrologi DTA Waduk Wonogiri

**Tabel 1. Luas DAS di DTA Waduk Wonogiri**

Nama DAS	Luas (km <sup>2</sup> )
Pondok	24,173
Keduang	397,363
Kepuh	29,895
Wiroko	216,948
Temon	60,078
Solo Hulu	193,623
Alang Ngunggahan	193,020
Kedungguling	96,046
Wuryantoro	37,598
Durensewu	26,155
Solo Hulu	60,032

Pada DTA Waduk Wonogiri terdapat lima pos pengukuran hujan telemetri (ARR), yaitu stasiun Pracimantoro, Batuwarno, Tirtomoyo, Jatisrono dan Bendungan Wonogiri. Selain itu juga terdapat empat pos pengukuran muka air sungai telemetri di DAS Keduang, DAS Wiroko, DAS Temon dan DAS Wuryantoro yang berada di stasiun AWLR Keduang, Tirtomoyo, Baturetno dan Pulutan Kulon. Pasangan data hujan rerata DAS dan debit jam-jaman terukur di empat stasiun AWLR tersebut pada beberapa kejadian aliran besar terpilih dapat digunakan untuk menurunkan hidrograf satuan terukur untuk DAS Keduang, DAS Wiroko, DAS Temon dan DAS Wuryantoro. Tahapan dan prosedur penelitian terdiri dari: 1) penurunan hidrograf satuan terukur (HS terukur), 2) penurunan hidrograf satuan metode GIUH (HS GIUH), 3) kajian ketelitian HS GIUH dan hasil hitungan hidrograf banjir, 4) pembuatan perangkat lunak model simulasi alihragam hujan-aliran untuk hitungan hidrograf banjir dan 5) evaluasi hasil penelitian untuk menyiapkan penelitian lanjut.

#### 1. Penurunan HS Terukur

Prosedur penurunan HS terukur diawali dengan mengumpulkan dan melakukan pemilihan pasangan data hujan jam-jaman di lima stasiun ARR dan data muka air sungai di empat stasiun AWLR pada beberapa kejadian aliran sungai yang besar. Selanjutnya untuk setiap tanggal dan jam kejadian terpilih dapat dihitung hujan jam-jaman rerata DAS

Keduang, DAS Wiroko, DAS Temon dan DAS Wuryantoro menggunakan metode poligon Thiessen.

Dengan menggunakan rating curve di masing-masing stasiun AWLR dapat disiapkan hidrograf banjir dalam debit jam-jaman pada beberapa kejadian terpilih tersebut. Pasangan data hujan dan hidrograf terukur ini digunakan untuk menurunkan HS terukur di stasiun AWLR masing-masing DAS menggunakan metode Collins (Sri Harto, 2009). Selanjutnya dihitung HS terukur di outlet DAS yang posisinya di hilir dari masing-masing stasiun AWLR. Metode yang digunakan untuk menurunkan HS terukur outlet DAS didasarkan pada rasio waktu konsentrasi dan luas DAS antara posisi di stasiun AWLR dan di outlet DAS (Sadeghi dkk., 2010; Oktavia, 2013).

#### 2. Penurunan HS GIUH

Langkah awal untuk mendapatkan HS GIUH adalah menurunkan terlebih dahulu HS sesaat atau Instantaneous Unit Hydrograph (IUH) dengan prosedur seperti yang dilakukan oleh Rodriguez-Iturbe dan Valdes (1979) serta Deka dan Gautam (2016). IUH diasumsikan berbentuk sebuah segitiga dimana debit puncak, waktu puncak dan waktu dasar dapat dihitung menggunakan beberapa persamaan berikut ini.

$$q_p = \frac{1,31 \times R_L^{0,43} \times V}{L_\Omega} \quad (1)$$

$$t_p = 0,44 \times \frac{L_\Omega}{V} \times \left(\frac{R_B}{R_A}\right)^{0,55} \times R_L^{-0,38} \quad (2)$$

$$t_b = \frac{2}{q_p} \quad (3)$$

dengan keterangan:

- $q_p$  : debit puncak ( $\text{jam}^{-1}$ ),  
 $t_p, t_b$  : waktu puncak (jam), waktu dasar (jam),  
 $L_Q$  : panjang dari sungai dengan orde tertinggi di DAS (km),  
 $V$  : *dynamic parameter velocity* (m/s),  
 $R_A, R_B, R_L$  : rasio luas, rasio percabangan, dan rasio panjang *Horton*.

Tiga faktor rasio *Horton* terdiri dari area ratio (RA), bifurcation ratio (RB), dan length ratio (RL) dapat dihitung dari hasil penentuan beberapa karakteristik geomorfologi DAS, yaitu rerata luas sub DAS yang berkontribusi ke sungai dengan orde tertentu, orde sungai tertinggi, jumlah ruas sungai untuk semua orde dan panjang rerata sungai pada orde tertentu. Beberapa parameter fisik DAS ini diperoleh dari proses olahan peta DEM menggunakan perangkat lunak Watershed Modeling System (WMS) dan ArcMap.

Perkalian persamaan 2 dan persamaan 3 akan menghasilkan persamaan tak berdimensi sebagai berikut:

$$q_p \times t_p = 0,5764 \times \left(\frac{R_B}{R_A}\right)^{0,55} \times R_L^{0,05} \quad (4)$$

Nilai  $q_p \times t_p$  tidak tergantung pada kecepatan dan juga tidak dipengaruhi oleh karakteristik banjir, merupakan fungsi dari karakteristik geomorfologi DAS. Oleh karena itu hasilnya disebut sebagai geomorphological instantaneous unit hydrograph (GIUH).

Dynamic parameter velocity suatu DAS (V) di wilayah tropis dapat dihitung menggunakan hubungan kombinasi rumus waktu konsentrasi Ventura dan persamaan kecepatan sebagai berikut (Almeida dkk., 2017).

$$V = \frac{5 \times L^{0,5} \times H^{0,5}}{72 \times A^{0,5}} \quad (5)$$

dengan keterangan:

- A : luas DAS ( $\text{km}^2$ ),  
L : panjang sungai utama (km),

H : perbedaan tinggi antara titik paling hulu dan hilir sungai utama (m).

Penurunan GIUH berdasarkan IUH dan faktor geomorfologi DAS menggunakan model Nash seperti yang dilakukan oleh Karamouz dkk. (2013). Prosedur ini menganalogikan proses alihragam hujan-aliran pada DAS sebagai riam (cascade) dari n reservoir dengan waktu tunda (lag time) reservoir  $k$  yang dapat diperkirakan nilainya menggunakan persamaan berikut (Rai dkk., 2009).

$$\frac{\Gamma(n-1)}{\Gamma(n)} \exp[-(n-1)](n-1)^{n-1} = 0,5764 \left(\frac{R_B}{R_A}\right)^{0,55} R_L^{0,05} \quad (6)$$

$$k = \frac{0,44L_Q}{V} \left(\frac{R_B}{R_A}\right)^{0,55} R_L^{-0,38} \frac{1}{(n-1)} \quad (7)$$

Langkah selanjutnya adalah penurunan GIUH menjadi HS GIUH menggunakan metode lagging dan kurva-S dengan menerapkan asumsi hubungan antara hujan dan aliran adalah linier (Bras, 1990).

### 3. Kajian Ketelitian HS GIUH

Ketelitian HS GIUH diukur dengan cara membandingkan nilai debit puncak ( $q_p$ ), waktu puncak ( $t_p$ ) dan waktur dasar ( $t_b$ ) terhadap HS terukur yang diperoleh pada kegiatan (1). Perbedaan nilai ketiga parameter pokok HS tersebut dinyatakan dalam persentase relatif (%).

### 4. Pembuatan Perangkat Lunak Hitungan Simulasi Alihragam Hujan-Aliran

Perangkat lunak ini dimaksudkan untuk mempercepat proses hitungan hidrograf banjir yang diakibatkan oleh sembarang kejadian hujan pada keempat DAS yang dikaji. Program komputer aplikasi model simulasi hujan-aliran disusun menggunakan compiler Visual Studio berdasarkan HS GIUH yang telah dihasilkan dan beberapa data karakteristik DAS seperti luas (A), nilai curve number (CN) untuk hitungan hujan efektif, faktor bobot Thiessen untuk setiap stasiun hujan dan persamaan rating curve masing-masing stasiun AWLR DAS untuk perkiraan nilai base flow. Input hitungan simulasi adalah hujan jam-jaman

yang diperoleh dari sistem telemetri pemantauan hujan secara real time dan online yang dikelola oleh Perum Jasa Tirta I (PJT I).

Untuk sembarang kejadian hujan dan debit aliran awal, output program aplikasi dapat menampilkan tabel dan hidrograf banjir dalam debit jam-jaman di masing-masing DAS. Telaah ketelitian hasil hitungan hidrograf banjir menggunakan HS GIUH didasarkan pada nilai persentase relatif perbedaan nilai puncak ( $Qp$ ), waktu puncak ( $Tp$ ) terhadap hidrograf banjir terukur.

#### 5. Evaluasi Hasil Penelitian

Evaluasi hasil penelitian awal terkait dengan prospek penggunaan HS GIUH ini difokuskan pada tingkat ketelitian HS dan perbedaan hidrograf banjir yang dihasilkan terhadap hidrograf banjir terukur. Output aplikasi model simulasi hujan-aliran ini sangat diperlukan untuk hitungan reservoir flood routing yang hasilnya akan menjadi pertimbangan pengelola Waduk Wonogiri dalam menetapkan keputusan operasional bukaan pintu spillway untuk tujuan pengendalian banjir di wilayah Sungai Bengawan Solo Hulu.

Faktor-faktor yang menyebabkan perbedaan baik HS maupun hidrograf banjir perlu dikaji untuk menjadi pertimbangan dalam kegiatan penelitian lebih lanjut agar diperoleh cara atau prosedur penurunan HS GIUH yang lebih akurat.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Penurunan HS GIUH pada empat DAS yang dikaji dilakukan dengan beberapa variasi parameter DAS yang mempengaruhi nilai faktor geomorfologi DAS pada persamaan-persamaan hitungan IUH dan GIUH, yaitu jumlah kejadian banjir, orde sungai tertinggi dan rumus dynamic parameter velocity (Sulistiyowati, 2017; Nugraha, 2018). Untuk mengetahui ketelitian HS GIUH digunakan HS terukur sebagai acuan yang diperoleh dari rerata hasil penurunan HS beberapa kejadian terpilih pada setiap DAS.

Pada Gambar 2 dapat dilihat perbandingan antara HS terukur dan HS GIUH pada DAS Keduang yang dihitung menggunakan metode lagging dan kurva-S (Anantri, 2017). Meskipun waktu puncak hampir sama, namun debit puncak kedua HS GIUH lebih rendah dari debit puncak HS terukur sekitar 40,6%, sedangkan waktu dasar lebih panjang 50%. Perbedaan nilai parameter pokok HS ini diduga karena faktor penetapan nilai minimum ambang pada pemodelan akumulasi aliran pada jaringan sungai belum sesuai dengan kondisi lapangan. Secara geomorfologi, penentuan orde sungai tertinggi belum sesuai dengan jaringan sungai yang ada di DAS, perlu digunakan orde sungai yang lebih tinggi pada proses pengolahan peta DEM.

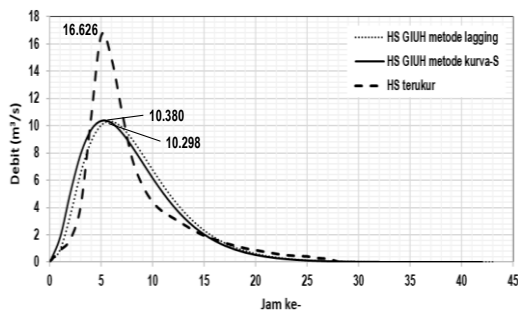
Perbandingan HS DAS Wiroko ditunjukkan pada Gambar 3, dimana dapat dicermati bahwa jumlah kejadian aliran 4 dan 6 menghasilkan HS terukur dengan waktu puncak sama dan perbedaan debit puncak tidak signifikan, hanya sekitar 4,3%. Pengaruh penggunaan rumus dynamic parameter velocity terlihat jelas pada HS GIUH DAS Wiroko dimana rumus Ventura (Nugraha, 2018) menghasilkan debit puncak yang jauh lebih akurat dibandingkan rumus Kirpich (Sulistiyowari, 2017). Selain itu penggunaan orde sungai tertinggi 5 (Nugraha, 2018) juga menghasilkan HS GIUH yang lebih baik dibandingkan dengan orde sungai tertinggi 4 (Sulistiyowati, 2017).

Pada Gambar 4 dan Gambar 5 disajikan perbandingan HS DAS Temon dan DAS Solo Hulu. HS GIUH DAS Temon dengan luas yang relatif kecil dibandingkan DAS lain, yaitu 60,078 km<sup>2</sup> menunjukkan debit puncak yang lebih mendekati HS terukur menggunakan rumus dynamic parameter velocity metode Kirpich dibandingkan rumus Ventura dengan perbedaan 23,7% dan waktu dasar lebih pendek 14,29% (Harset, 2020). Hasil ini sesuai dengan penelitian Nugraha (2018) yang mengindikasikan bahwa rumus

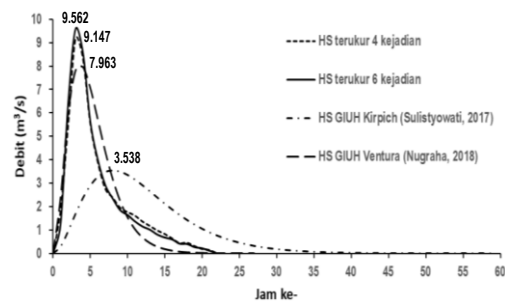
Ventura lebih sesuai diterapkan pada DAS yang besar. Pengaruh variasi orde sungai tertinggi 4 dan 5 ditunjukkan pada perbandingan HS GIUH DAS Solo Hulu dimana perbedaan debit puncak sekitar 8,21% dengan waktu puncak yang sama (Maryesi, 2020).

Perbedaan debit puncak HS GIUH terhadap HS terukur pada DAS Solo Hulu cukup besar, yaitu lebih rendah sekitar 70,5% dengan waktu puncak dan waktu dasar lebih panjang sekitar 50,0% dan 64,3%. Berdasarkan evaluasi terhadap HS GIUH yang diturunkan pada keempat DAS tersebut

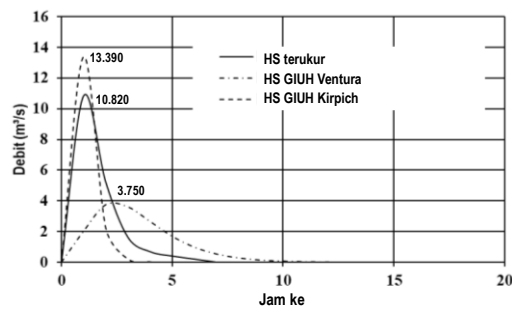
menunjukkan bahwa belum dapat diketahui pola ketelitiannya terhadap HS terukur dengan kecenderungan perbedaan nilai parameter pokok HS yang pasti. Tabel 2 menyajikan rekapitulasi hasil evaluasi HS GIUH pada empat DAS di DTA Waduk Wonogiri. Secara umum dapat diketahui tiga dari empat DAS yang dikaji menunjukkan debit puncak HS GIUH lebih rendah dari debit puncak HS terukur. Program aplikasi model hujan-aliran yang telah dibuat digunakan untuk hitungan hidrograf banjir berdasarkan kejadian hujan besar tanggal 25 Desember 2007.



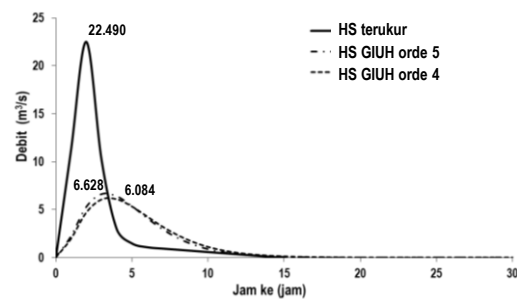
Gambar 2. HS DAS Keduang



Gambar 3. HS DAS Wiroko



Gambar 4. HS DAS Temon



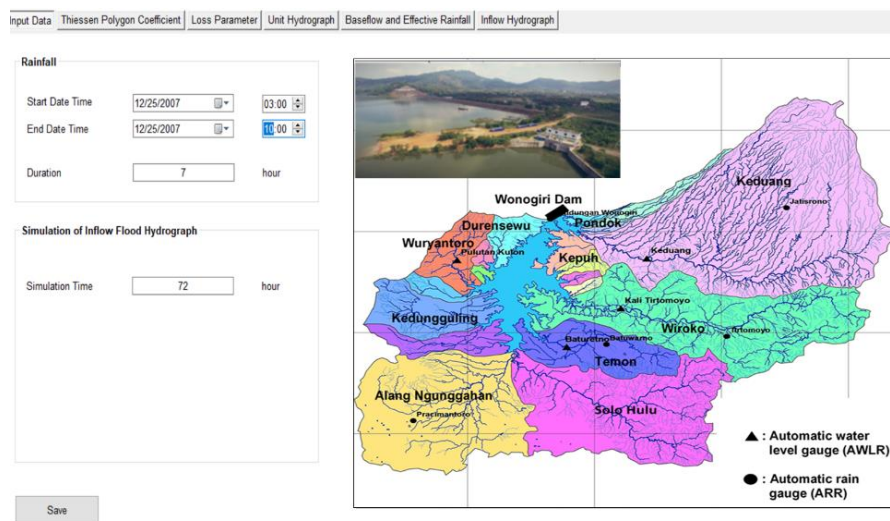
Gambar 5. HS DAS Solo Hulu

Tabel 2. Rekapitulasi Ketelitian HS GIUH

DAS	$q_p$ -obs ( $m^3/s$ )	$q_p$ -GIUH ( $m^3/s$ )	RE- $q_p$ (%)	$t_p$ -obs (jam)	$t_p$ -GIUH (jam)
Keduang	16,626	10,380	-40,6%	6	5
Wiroko	9,562	7,963	-22,8%	5	4
Temon	10,820	13,390	23,7%	1	2
Solo Hulu	22,490	6,628	-70,5%	2	3

Gambar 6 menunjukkan tampilan untuk input tanggal dan jam kejadian hujan serta durasi hitungan simulasi. Tampilan untuk input hujan jam-jaman dan muka air awal pada AWLR untuk perkiraan debit base flow dapat dilihat pada Gambar 7. Setelah data hujan jam-jaman, muka air awal AWLR dan nilai CN diisikan dapat dilakukan eksekusi untuk mendapatkan hidrograf banjir di semua DAS. Gambar 8 menunjukkan contoh tampilan tabel dan grafik hidrograf banjir DAS Keduang. Program aplikasi ini juga menghitung

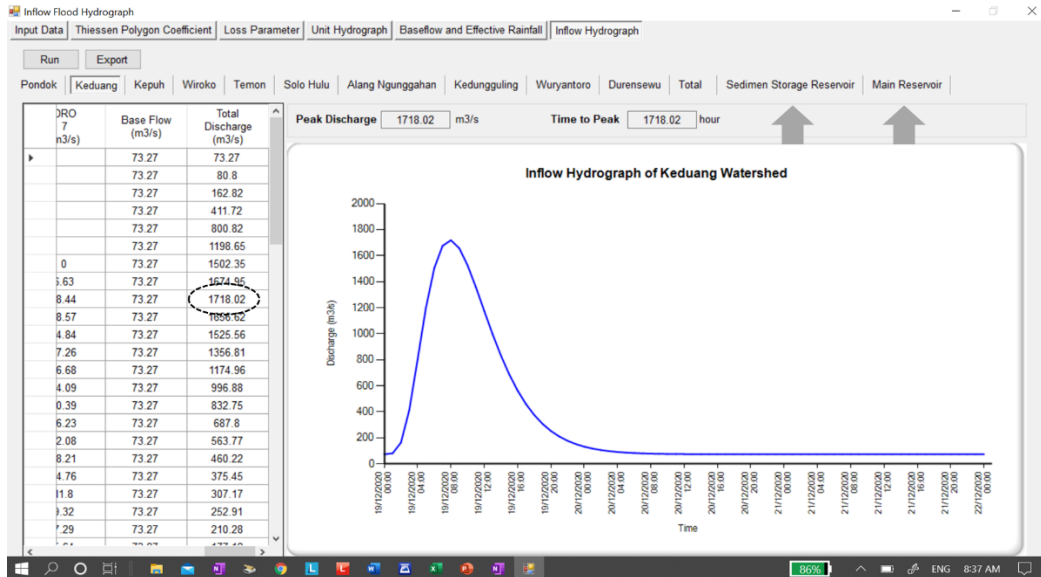
hidrograf banjir inflow ke SSR dan MR yang akan digunakan pada hitungan reservoir flood routing untuk menentukan operasi bukaan pintu spillway optimal dalam rangka pengendalian banjir wilayah Sungai Bengawan Solo Hulu. Pada penerapannya input hujan jam-jaman dan muka air AWLR dapat dilakukan secara cepat karena di DTA Waduk Wonogiri telah tersedia pemantauan data hidrologi menggunakan sistem telemetri yang dikelola oleh PJT I, dimana data dapat diperoleh secara real time dan online.



Gambar 6. Tampilan Aplikasi untuk Input Kejadian Hujan dan Durasi Simulasi



Gambar 7. Tampilan Aplikasi untuk Input Hujan dan Muka Air AWLR



Gambar 8. Tampilan Tabel dan Grafik Hidrograf Banjir

Tabel 3. Rekapitulasi Hasil Hitungan Hidrograf Banjir

DAS	Luas (km <sup>2</sup> )	$Q_p$ -obs (m <sup>3</sup> /s)	$Q_p$ -GIUH (m <sup>3</sup> /s)	RE- $Q_p$ (%)	$T_p$ -obs (jam)	$T_p$ -GIUH (jam)
Keduang	397,363	2422,91	1718,02	-29,1%	9	8
Wiroko	216,948	615,34	558,03	-9,3%	7	6
Temon	60,078	644,55	380,29	-41,0%	3	5
Solo Hulu	193,623	1399,60	630,88	-54,9%	4	6

Perbandingan karakteristik hidrograf banjir terukur dan hidrograf banjir yang dihitung menggunakan HS GIUH akibat hujan tanggal 25 Desember 2207 ditunjukkan pada Tabel 3.

Dari tabel tersebut dapat diketahui bahwa debit puncak hidrograf banjir GIUH ( $Q_p$ -GIUH) lebih rendah dari debit puncak hidrograf banjir terukur ( $Q_p$ -obs) antara -9,3% sampai dengan -54,9%. Untuk waktu puncak banjir ( $T_p$ -obs dan  $T_p$ -GIUH) dan waktu dasar ( $T_b$ -obs dan  $T_b$ -GIUH) tidak terdapat pola kecenderungan perbedaan yang spesifik, yaitu masing-masing antara -11,1% sampai dengan +66,7% dan -6,7% sampai dengan +46,15%. Perbedaan terbesar pada DAS Solo Hulu yang berada di wilayah dengan kemiringan alur sungai relatif besar. Selain itu juga tidak terlihat pengaruh luas DAS terhadap ketelitian hidrograf banjir GIUH.

## SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, beberapa hal penting dapat disimpulkan sebagai berikut ini.

1. Penggunaan metode HS GIUH untuk hitungan hidrograf banjir pada sistem DAS di DTA Waduk Wonogiri cenderung menghasilkan debit puncak underestimated antara -9,3% sampai dengan -54,9%. Perbedaan waktu puncak dan waktu dasar hidrograf banjir tidak menunjukkan pola spesifik, masing-masing antara -11,1% sampai dengan +66,7% dan -6,7% sampai dengan +46,15%.
2. Program aplikasi model hujan-aliran yang telah dibuat dapat digunakan dengan mudah untuk hitungan perkiraan hidrograf inflow Waduk Wonogiri secara cepat dengan memanfaatkan ketersediaan sistem telemetri pemantauan data hidrologi yang dikelola oleh PJT I.



3. Hasil penelitian ini belum menemukan pola kecenderungan yang spesifik tentang pengaruh faktor morfologi DAS terhadap ketelitian HS GIUH untuk perkiraan hidrograf banjir.
4. Penelitian lebih lanjut perlu dilakukan dengan mengkaji lebih detil pengaruh faktor orde sungai tertinggi dan rumus empirik dynamic parameter velocity yang sesuai dengan karakteristik DAS agar dihasilkan HS GIUH yang lebih mewakili proses alihragam hujan-aliran di DTA Waduk Wonogiri.
5. Diharapkan hasil pengembangan lebih lanjut program aplikasi model hujan-aliran metode HS GIUH dapat digunakan untuk keperluan inflow flood forecasting sebagai bagian penting dari rangkaian tahapan penetapan keputusan operasional terkait dengan operasi Waduk Wonogiri untuk tujuan pengendalian banjir.

Tim peneliti mengucapkan terima kasih kepada PJT I atas ijin penggunaan data, Anantri Sulistyowati, Muhammad Gusti Nugraha, Demetrio Harset dan Yendri Maryesi atas kerja keras bergabung dalam kelompok penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan FT UGM yang telah menyediakan dana untuk pelaksanaan penelitian ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Almeida, A.K., Gabas, G.S. and Sobrinho, T.A. (2017) Performance of Methods for Estimating the Time of Concentration in a Watershed of a Tropical Region. *Hydrological Sciences Journal – Journal Des Sciences Hydrologiques*, Vol 62, No 14, pp. 2406-2414.
- Bras, Rafael L. (1990) *Hydrology: an introduction to hydrologic science*. Canada: Addison-Wesley Publishing Company.
- Deka, P. dan Gautam, M.K. (2016) Derivation of Unit Hydrograph from GIS Based GIUH. *Imperial Journal of Interdisciplinary Research (IJIR)*, Vol 2, No 8, pp. 555-563.
- Harset, D. (2010) *Pengaruh Penggunaan Rumus Empirik Kecepatan Dinamik Terhadap Hidrograf Satuan Sintetik GIUH*. Tugas Akhir, Universitas Gadjah Mada.
- Jayadi, R., Istiarto and Pradipta, A.G. (2018) Impact of Sedimentation Counter Measure on the Performance of Flood Control: A Case Study of Wonogiri Reservoir. *Journal of Applied Mechanics and Materials Online*, Vol 881, pp. 78-85.
- Jotish, N., Parthasarathi, C., Nazrin, U., and Victor, S.K. (2011) A Geomorphological Based Rainfall-runoff Model for Ungauged Watersheds. *International Journal of Geomatics and Geosciences*, Vol 2, No 2, pp. 676–687.
- Karamouz, M., Nazif, S., and Falahi, M. (2013) *Hydrology and Hydroclimatology Principles and Applications*. Boca Raton: CRC Press.
- Maryesi, Y. (2020) *Pengaruh Jumlah Orde Sungai Terhadap Ketelitian Hidrograf Satuan Sintetik Metode GIUH dan GAMA I*. Tugas Akhir, Universitas Gadjah Mada.
- Nugraha, M.G. (2018) *Penggunaan Model Geomorphological Instantaneous Unit Hydrograph untuk Hitungan Hidrograf Limpasan Langsung dengan Input Data Hujan Permukaan dan Hujan Satelit (Studi Kasus Daerah Aliran Sungai Wiroko, Wonogiri, Jawa Tengah)*. Tugas Akhir, Universitas Gadjah Mada.
- Oktavia, S.R. (2013) *Pengembangan Model Hidrologi Untuk Estimasi Hidrograf Inflow Waduk Wonogiri*. Tesis, Universitas Gadjah Mada.

- Rai, R.K., Upadhyay, A., Sarkar, S., Upadhyay, A.M. and Singh, V.P. (2009) GIUH Based Transfer Function for Gomti River Basin of India. *Journal of Spatial Hydrologic*, Vol 9, No 2, pp. 29-50.
- Rodriguez-Iturbe, I. and Valdes, J.B. (1979) The Geomorphologic Structure of Hydrologic Response. *Journal of Water Resources Research*, Vol 15 No 6, pp. 1409-1420.
- Sadeghy, S.H. and Singh, J.K. (2010) Derivation of Flood Hydrographs for Ungauged Upstream Subwatersheds Using a Main Outlet Hydrograph. *Journal of Hydrologic Engineering*, Vol 15, No 12, pp. 1059-1069.
- Sri Harto, BR. (2009) Hidrologi: Teori, Masalah, Penyelesaian. Yogyakarta: Nafiri Offset.
- Sulistiyowati, A. (2017) Pemodelan Hidrograf Satuan dengan Metode Geomorphological Instantaneous Unit Hydrograph (GIUH). Tesis, Universitas Gadjah Mada.