

# Analisis Hidrograf Banjir dengan Metode *Nakayasu* dan ITB di Sungai Progo Hulu

*Flood Hydrograph Analysis Using Nakayasu and ITB Methods in Upstream Basin of Progo River*

**Bayu Krisna Wisnulingga, Puji Harsanto**

*Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta*

**Abstrak.** Perkiraan hidrograf banjir pada suatu sungai menjadi hal yang utama dilakukan dalam perencanaan suatu bangunan air. Pada suatu sungai yang tidak ada data pengukuran debit dalam waktu yang panjang, metode pengalihragaman dari hujan menjadi debit sungai menjadi hal yang lazim dilakukan untuk mendapatkan debit banjir rancangan. Sampai dengan saat ini, metode hidrograf satuan sintesis (HSS) masih menjadi alat yang digunakan dalam analisis debit banjir rancangan. Penelitian ini menerapkan analisis hidrograf dengan Metode *Nakayasu* dan ITB dengan data curah hujan Sub DAS Progo hulu Bulan Januari 2012 yang terbagi dalam 3 kondisi yaitu Kondisi 1 tanggal 1-7, Kondisi 2 tanggal 8-13, dan Kondisi 3 tanggal 20-26. Hasil model dibandingkan dengan pengukuran limpasan langsung dari stasiun AWLR Borobudur. Modifikasi konstanta pada persamaan dilakukan untuk mendapatkan parameter yang sesuai. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kecenderungan nilai debit yang diperoleh dari Metode *Nakayasu* lebih besar dari nilai debit pengamatan, sedangkan pada Metode ITB cenderung memberikan hasil lebih kecil. Dari proses modifikasi, nilai parameter  $\alpha$  *Nakayasu* sama dengan 10, nilai pangkat persamaan  $Q_a = 4,8$ , dan nilai konstanta pada  $T_{0,3}$  pada persamaan  $Q_{dl}$  adalah 0,25, serta nilai parameter dari Metode ITB, nilai konstanta untuk  $T_L$  pada persamaan  $T_P = 1$ .

Kata kunci: hidrograf banjir, Metode *Nakayasu*, Metode ITB, limpasan langsung, modifikasi.

**Abstract.** Estimating flood hydrograph is the main analysis for river constructions design. Synthetic unit hydrograph (SUH) method is a tool in a design flood discharge analysis when there is no discharge series data in a long time. In fact, the SUH method does not always provide proper results. In this research, flood hydrograph analysis using Nakayasu and ITB methods are applied on the upper Progo River basin. Daily rainfall in January 2012 is used in this research and divided into 3 conditions, namely Condition 1 dated 1-7 January, Condition 2 dated 8-13 January, and Condition 3 dated 20-26 January. The streamflow data from Borobudur AWLR station is applied for model calibration. Modifications in the equation are done to get the appropriate parameters. The results showed that most of the discharge values from the analysis using the Nakayasu Method were greater than the observed data. On the other hand, it's smaller when using the ITB Method. From the modification processes, the  $\alpha$  parameter values of the Nakayasu Method is 10, the power of  $Q_a$  equation = 4.8, constant of  $T_{0.3}$  in  $Q_{dl}$  equation is 0.25, and the constant of  $T_L$  in  $T_P$  equation of ITB Method is 1.

Key words : flood hydrograph, Nakayasu Method, ITB Method, direct runoff, modification.

## 1. Pendahuluan

Sungai Progo merupakan salah satu sumber kehidupan bagi masyarakat di Yogyakarta. Selain dimanfaatkan untuk kebutuhan air rumah tangga, juga dimanfaatkan sebagai sumber mata pencaharian seperti tambang pasir dan irigasi untuk pertanian. Oleh karena pentingnya Sungai Progo bagi kehidupan masyarakat, maka pengamatan-pengamatan hidrologi menjadi hal penting untuk Sungai Progo. Namun hal ini menjadi masalah karena

ketidaktersediaan data debit aliran sungai dalam waktu yang panjang di stasiun *Automatic Water Level Recorder (AWLR)*. Dalam perencanaan, permasalahan ini dapat diatasi dengan memanfaatkan data curah hujan pada DAS. Pengalihragaman data curah hujan menjadi perkiraan debit aliran dapat dilakukan dengan membuat hidrograf menggunakan Metode *Nakayasu* dan Metode ITB. Pada penelitian ini, menerapkan analisis hidrograf Metode *Nakayasu* dan Metode ITB dari data curah hujan Sub DAS Progo hulu dengan

lokasi pengamatan DAS Borobudur dan membandingkannya dengan grafik data limpasan langsung dari stasiun AWLR Borobudur.

Menurut Triatmodjo (2008), hidrograf adalah kurva yang memberi hubungan antara parameter aliran dapat berupa debit aliran atau muka air dengan waktu. Hidrograf terdiri dari sisi naik (*rising limb*), puncak (*peak*), dan sisi turun (*recession limb*). Hidrograf satuan didefinisikan sebagai hidrograf limpasan langsung (tanpa aliran dasar) yang tercatat di ujung hilir DAS yang ditimbulkan oleh hujan efektif sebesar 1 mm yang terjadi secara merata di permukaan DAS dengan intensitas tetap dalam suatu durasi tertentu. Di daerah yang tidak tersedia data hidrologi untuk menurunkan hidrograf satuan, maka dibuat Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) yang didasarkan pada karakteristik dari DAS.

Permatasari dkk. (2017) melakukan penelitian dengan memperkirakan parameter-parameter yang digunakan pada metode HSS *Nakayasu*, *SCS* dan *ITB* memberikan hasil bahwa debit puncak metode HSS *SCS* dan *ITB* hampir serupa, sedangkan debit puncak metode HSS *Nakayasu* lebih kecil dari debit puncak metode *SCS* dan *ITB*. Husain (2017) melakukan penelitian untuk menghitung debit banjir rancangan bendungan Kakkadavu dengan menggunakan metode konvolusi dan metode *2 Bells* memberikan hasil debit banjir metode konvolusi lebih kecil dari debit banjir metode *2 Bells*. Patel dan Thorvat (2015) dalam penelitiannya mengemukakan bahwa diperlukan metode HSS yang valid di suatu wilayah untuk menyesuaikan karakteristik hidrograf dengan karakteristik DAS.

Natakusumah dkk. (2011) melakukan pengembangan hidrograf satuan tak berdimensi yang konsisten berdasarkan prinsip konversi massa menggunakan HSS *ITB-1* dan HSS *ITB-2* yang menghasilkan rasio tinggi limpasan terhadap tinggi hujan mendekati 100%. Penelitian yang dilakukan oleh Priyantoro dan Limantara (2017) menunjukkan hasil bahwa Metode *Limantara* lebih sesuai untuk Sub DAS Sungai Brantas daripada Metode *Nakayasu*.

Menurut Hoffmeister dan Weisman (1977), Metode *Snyder* dengan modifikasi cukup akurat untuk hidrograf hujan tunggal.

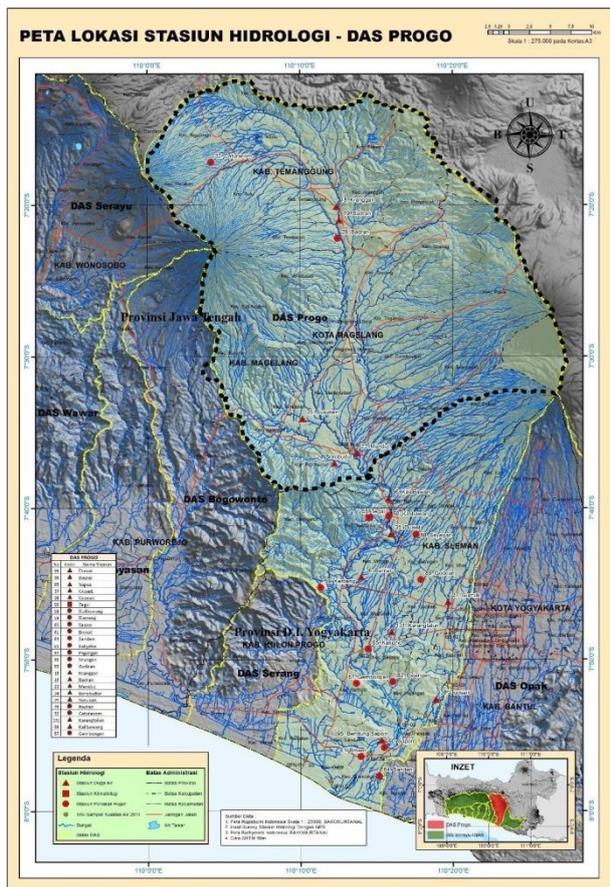
Salim (2015) melakukan penelitian pada DAS Bedadung, Jember untuk menentukan nilai-nilai koefisien  $\alpha$ ,  $T_r$ , dan panjang sungai ( $L$ ) dari model limpasan langsung menggunakan HSS *Nakayasu*, dengan hasil diperoleh nilai  $T_r = 0,3$  dan  $\alpha = 0,651$  dengan nilai kesesuaian 71% dan nilai koefisien  $L = 0,052$  dengan nilai kesesuaian 87,44%. Menurut Tunas dkk. (2017) penyesuaian parameter HSS dapat menurunkan penyimpangan parameter model HSS untuk debit puncak dan waktu puncak rata-rata hingga 30%. Safarina (2012) melakukan penelitian terhadap HSS Metode *Nakayasu* memberikan hasil bahwa terdapat sembilan koefisien termodifikasi pada HSS *Nakayasu* yang dapat digunakan pada DAS yang sesuai berdasarkan karakteristik DAS. Dari hasil penelitian Safarina dkk. (2011), masing-masing metode sintesis memiliki rentang validitas luas DAS, panjang sungai utama dan kemiringan DAS berbeda. Panjang sungai utama dan luas DAS merupakan faktor utama untuk analisis hidrograf satuan sintesis (Limantara, 2009).

Untuk menghasilkan model hidrograf yang mendekati hasil pengamatan di stasiun AWLR Borobudur, dalam penelitian ini dilakukan analisis hidrograf banjir dengan Metode *Nakayasu* dan *ITB*. Kalibrasi parameter persamaan model dilakukan untuk mendapatkan informasi tentang kesesuaian parameter model HSS dan selanjutnya hasil penelitian dapat digunakan sebagai referensi pada perencanaan debit banjir rancangan di Sungai Progo.

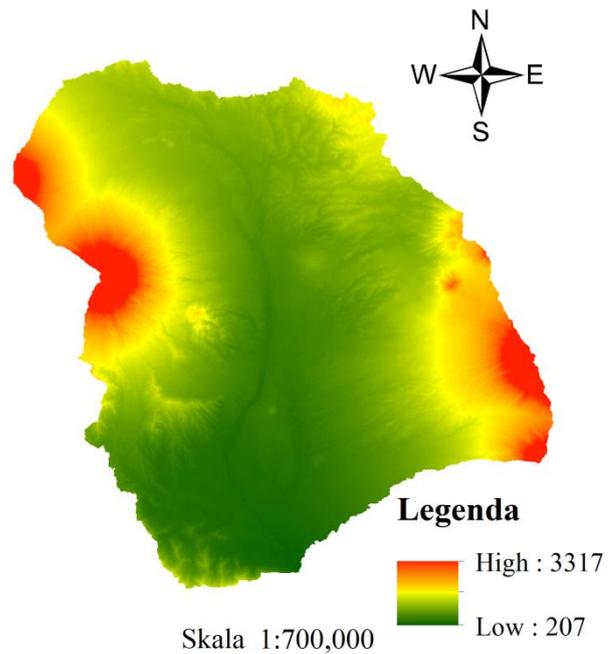
## 2. Metode Penelitian

### Lokasi dan Data Penelitian

Lokasi Daerah Aliran Sungai (DAS) yang digunakan dalam penelitian ini adalah Sub DAS Progo hulu dengan luas area DAS 1.502,13 km<sup>2</sup>. Data stasiun AWLR Borobudur pada Bulan Januari 2012 meliputi data kedalaman curah hujan harian dari 16 stasiun hujan dan muka air sungai. Data kedalaman curah hujan harian pada Sub DAS Progo hulu dan data muka air AWLR Borobudur pada Bulan Januari 2012 diperoleh dari Kementerian Pekerjaan Umum Balai Besar Wilayah Sungai (KPU-BBWS) Serayu-Opak Yogyakarta.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

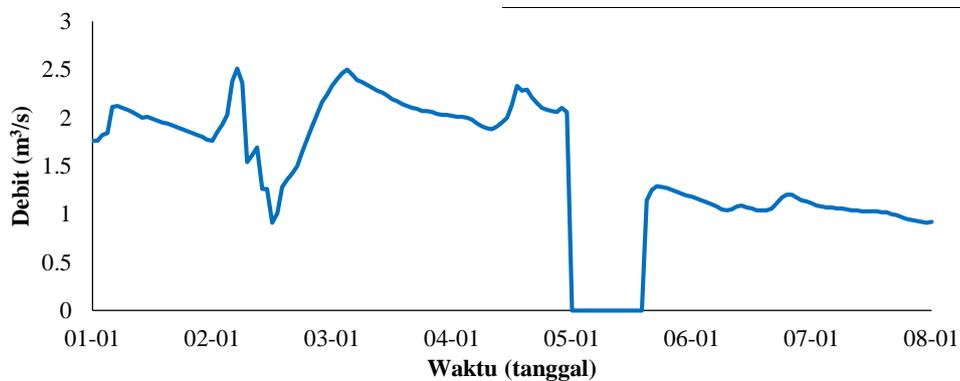


Gambar 2. Peta elevasi sub DAS Progo hulu

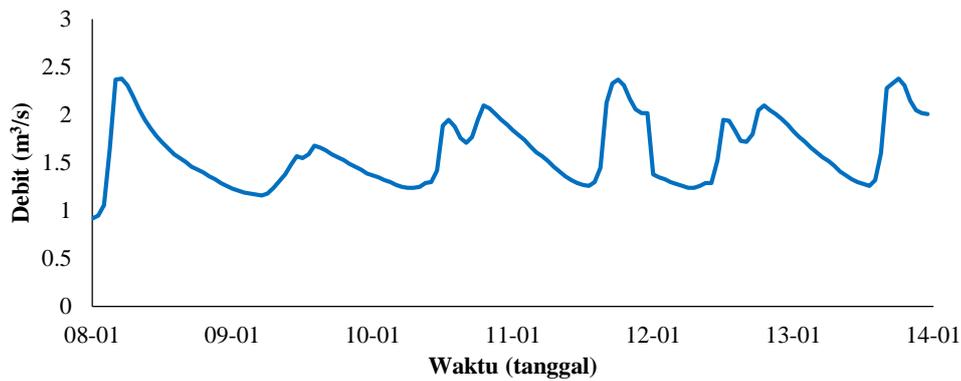
Data debit sungai yang digunakan merupakan data pengalihragaman muka air yang tercatat di stasiun AWLR Borobudur pada Bulan Januari 2012. Data tersebut dibagi menjadi 3 kondisi seperti ditunjukkan Tabel 1.

Tabel 1. Keterangan kondisi data muka air sungai pada Bulan Januari 2012

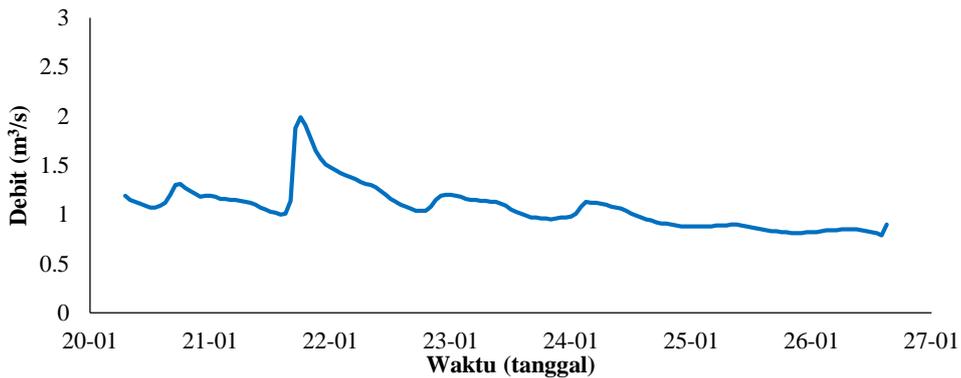
Kondisi	Keterangan
Kondisi 1	Data muka air pada tanggal 1 Januari s/d 7 Januari 2012
Kondisi 2	Data muka air pada tanggal 8 Januari s/d 13 Januari 2012
Kondisi 3	Data muka air pada tanggal 20 Januari s/d 26 Januari 2012



Gambar 3. Muka air pada tanggal 1 Januari s/d 7 Januari 2012



Gambar 4. Muka air pada tanggal 8 Januari s/d 13 Januari 2012



Gambar 5. Muka air pada tanggal 20 Januari s/d 26 Januari 2012

## Analisis Data

### Pembuatan Batas DAS

Proses pembuatan DAS dilakukan dengan menghubungkan punggung-punggung bukit atau gunung di sekeliling Sungai Progo hulu dengan titik outlet pada stasiun AWLR Borobudur hingga membentuk garis utuh.

### Identifikasi Karakteristik Sub DAS Progo Hulu

Identifikasi karakteristik sub DAS Progo hulu dilakukan dengan mengamati bentuk, menghitung luas, menganalisis elevasi, dan menghitung panjang sungai utama DAS dengan memanfaatkan *software ArcMap 10.2.1*.

### Pembuatan Poligon Thiessen

Analisa hujan rata-rata DAS dilakukan dengan metode poligon Thiessen yang proses pembuatannya menggunakan *Analysis Tools Thiessen Polygon* pada *software ArcMap 10.2.1*. Setelah pembuatan poligon Thiessen, didapatkan data luas area pengaruh masing-masing stasiun hujan seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

### Analisis Curah Hujan Rata-rata DAS

Analisis hidrologi yang digunakan untuk mengubah data hujan titik menjadi data curah hujan rata-rata DAS adalah Metode Thiessen.

### Alternating Block Method (ABM)

ABM digunakan untuk mengalihragamkan data kedalaman curah hujan rata-rata DAS yang masih berupa data harian menjadi data jam-jaman.

### Pengalihragaman Muka Air menjadi Debit Aliran

Data muka air yang didapat dari KPU-BBWS Serayu Opak dialihragamkan menjadi data debit aliran dengan persamaan berikut.

$$q(t) = 12,15 (x + 0.85)^{2,495}$$

dengan:

- $q$  : debit aliran sungai ( $m^3/s$ )
- $x$  : muka air sungai (m)

(setiap stasiun AWLR memiliki persamaan masing-masing untuk mengkonversi muka air menjadi debit)

### Analisis Aliran Dasar (*Baseflow*)

Penelitian ini menggunakan metode paling sederhana untuk mendapatkan debit aliran dasar, yaitu dengan seolah-olah menarik garis lurus dari nilai debit aliran sungai saat mulai terjadi hujan hingga nilai debit aliran saat hujan berhenti. Nilai aliran dasar diperoleh dengan metode interpolasi yaitu mencari nilai antara mulai hujan hingga akhir hujan.

### Modifikasi Persamaan dan Kalibrasi Parameter HSS

Modifikasi dan kalibrasi dilakukan dengan mengubah konstanta persamaan dan/atau nilai parameter pada HSS Metode *Nakayasu* dan ITB. Modifikasi dan kalibrasi dengan *trial & error* dicoba pada satu atau lebih parameter-parameter ataupun konstanta-konstanta dalam persamaan HSS secara bersamaan ataupun satu per satu, lalu dipilih parameter dan/atau konstanta persamaan yang dirasa paling sensitif dan sesuai sehingga didapatkan hasil yang sesuai antara hidrograf banjir analisis dengan grafik limpasan langsung *AWLR*. Apabila hasil yang didapatkan dari modifikasi atau kalibrasi tidak sesuai, maka nilai parameter atau konstanta akan dikembalikan ke nilai aslinya. Modifikasi dihentikan apabila telah didapatkan hasil yang sesuai berdasarkan nilai indeks kesesuaian maksimum yang telah mendekati 1.

### Indeks Kesesuaian

Analisis nilai kesesuaian ( $R^2$ ) dilakukan dengan menampilkan debit hasil pemodelan hidrograf banjir Metode *Nakayasu* ataupun ITB dan debit limpasan langsung *AWLR* dalam waktu yang sama kedalam 1 grafik dan menampilkan garis regresi (*trendline*) pada grafik tersebut.

## 3. Hasil dan Pembahasan

### Karakteristik Sub DAS Progo Hulu

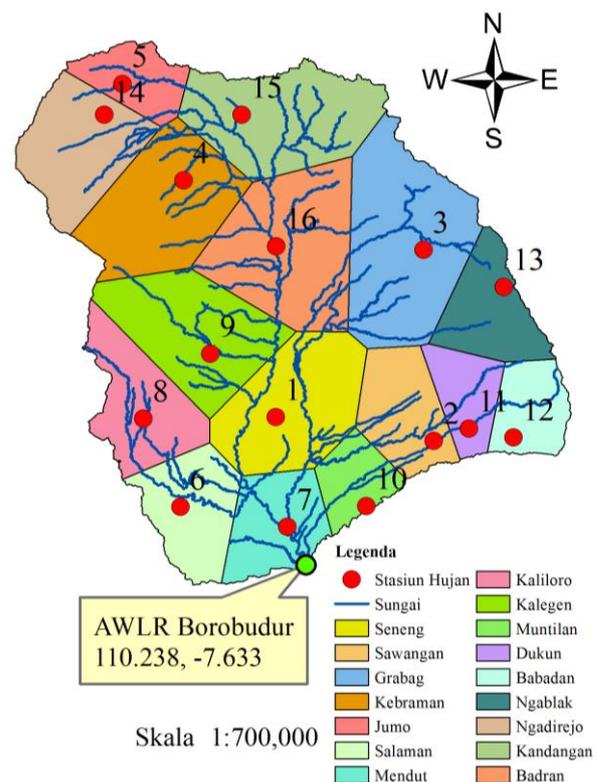
Hasil identifikasi karakteristik sub DAS Progo hulu ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik sub DAS Progo hulu

No	Karakteristik	Nilai
1	Luas sub DAS	1502,13 km <sup>2</sup>
2	Panjang sungai utama	68 km
3	Kemiringan sub DAS	0,025

### Hasil Pembuatan Poligon *Thiessen* dan Analisis Curah Hujan Rata-rata DAS

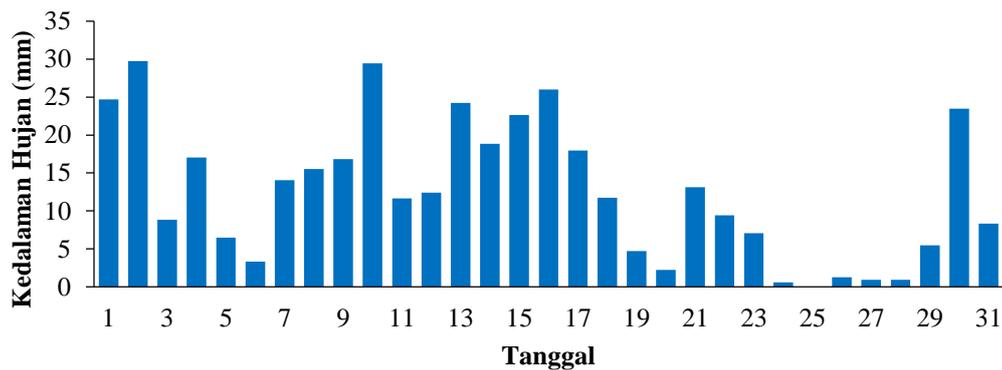
Hasil pembuatan poligon *Thiessen* ditunjukkan pada Gambar 6. Data koordinat stasiun hujan dan luas daerah pengaruh ditunjukkan pada Tabel 3. Hasil analisis curah hujan rata-rata DAS ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 6. Peta sebaran lokasi stasiun hujan di dalam Sub DAS Progo hulu

Tabel 3. Data koordinat stasiun hujan dan luas daerah pengaruh

No	Nama	Longitude	Latitude	Luas Area (m <sup>2</sup> )
1	Seneng	110°12'46,080"	-7°30'34,007"	132.588.777,4
2	Sawangan	110°20'36,955"	-7°31'45,018"	69.246.874,89
3	Grabag	110°20'05,973"	-7°22'12,031"	178.939.535,1
4	Kebraman	110°08'12,093"	-7°18'43,005"	137.362.368,7
5	Jumo	110°05'09,952"	-7°13'54,025"	44.795.994,41
6	Salaman	110°08'03,091"	-7°35'03,992"	86.201.884,34
7	Mendut	110°13'20,988"	-7°36'04,018"	53.234.108,26
8	Kaliloro	110°06'11,872"	-7°30'39,015"	84.955.476,63
9	Kaligen	110°09'32,019"	-7°27'24,043"	133.877.284,4
10	Muntilan	110°17'16,060"	-7°35'01,022"	25.511.729
11	Dukun	110°22'20,998"	-7°31'09,026"	41.053.878,24
12	Babadan	110°24'33,829"	-7°31'35,033"	41.973.572,3
13	Ngablak	110°24'05,012"	-7°24'03,018"	74.765.998,7
14	Ngadirejo	110°04'15,932"	-7°15'25,998"	102.612.936,5
15	Kandangan	110°11'04,903"	-7°15'26,002"	134.518.371
16	Badran	110°12'47,157"	-7°22'00,997"	160.490.476,9
Jumlah				1.502.129.267

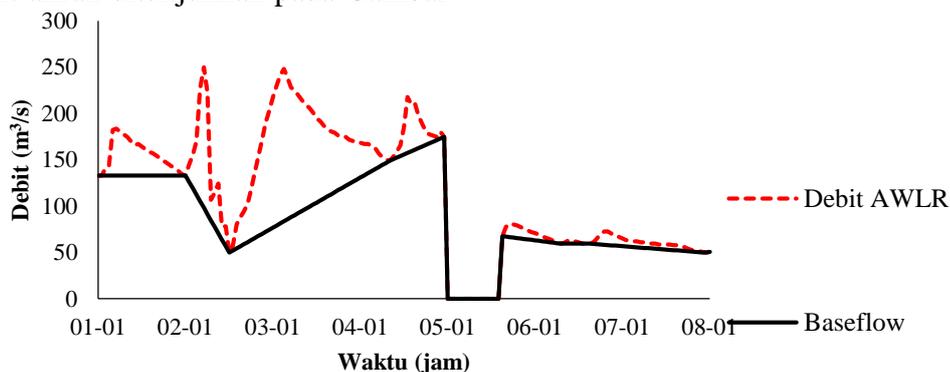


Gambar 7. Data curah hujan rata-rata DAS pada Januari 2012

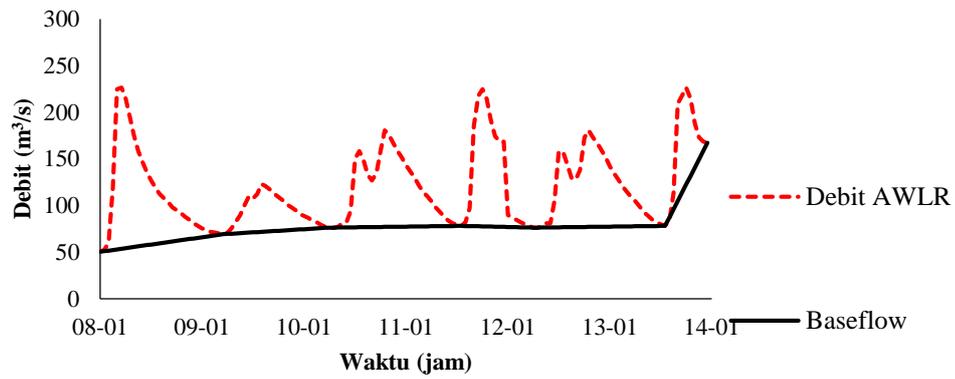
**Hasil Pengalihragaman Muka Air menjadi Debit Aliran dan Analisis Debit Aliran Dasar (*Baseflow*)**

Hasil pengalihragaman muka air menjadi debit aliran ditunjukkan pada Gambar

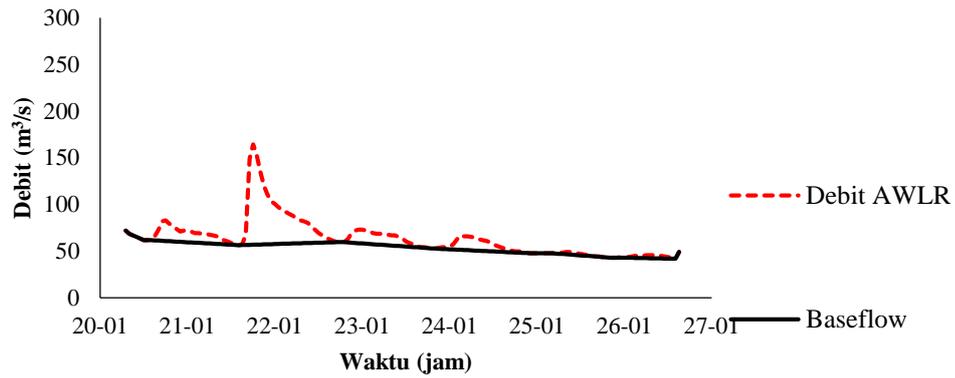
8, 9, dan 10. Debit limpasan langsung diperoleh dengan perhitungan debit *AWLR* dikurangi aliran dasar (*baseflow*) seperti ditunjukkan Gambar 11, 12, dan 13.



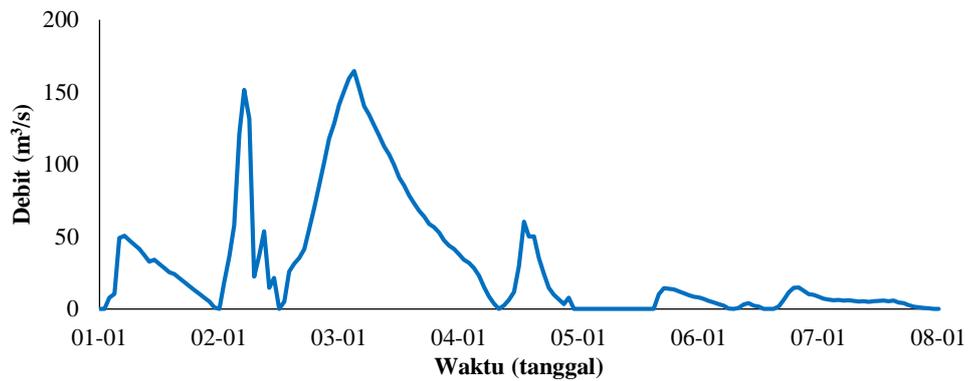
Gambar 8. Grafik debit aliran dan *baseflow* AWLR 1-7 Januari 2012



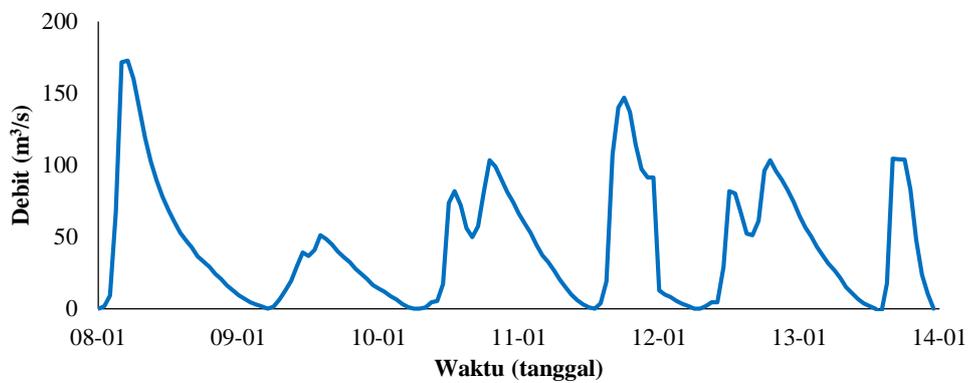
Gambar 9. Grafik debit aliran dan *baseflow* AWLR 8-13 Januari 2012



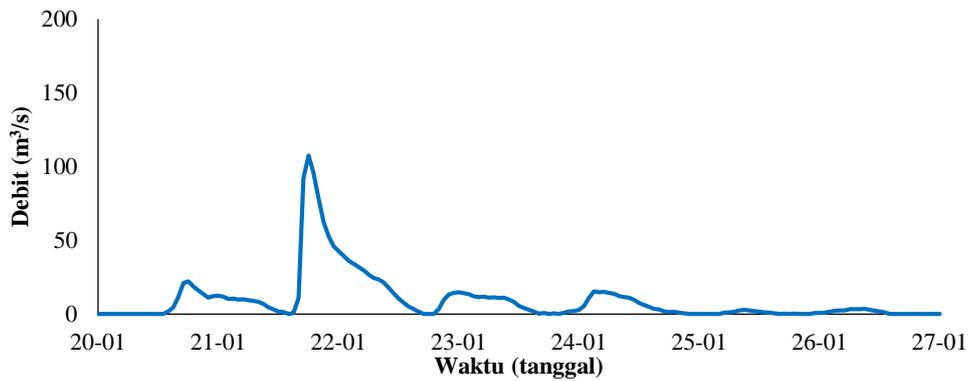
Gambar 10. Grafik debit aliran dan *baseflow* AWLR 20-26 Januari 2012



Gambar 11. Grafik limpasan langsung AWLR 1-7 Januari 2012



Gambar 12. Grafik limpasan langsung AWLR 8-13 Januari 2012



Gambar 13. Grafik limpasan langsung AWLR 20-26 Januari 2012

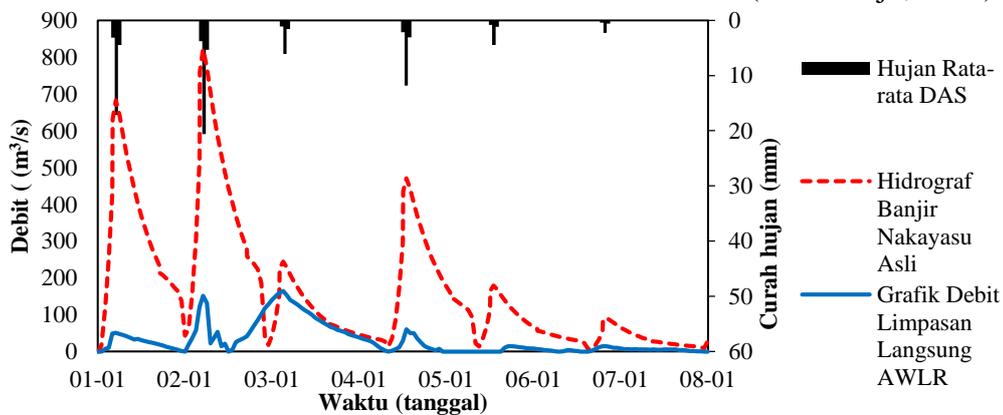
**Hasil Analisis Hidograf Banjir Metode Nakayasu**

Persamaan metode *Nakayasu* yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 4. Hasil analisis ditunjukkan pada Gambar 14, 15, dan 16.

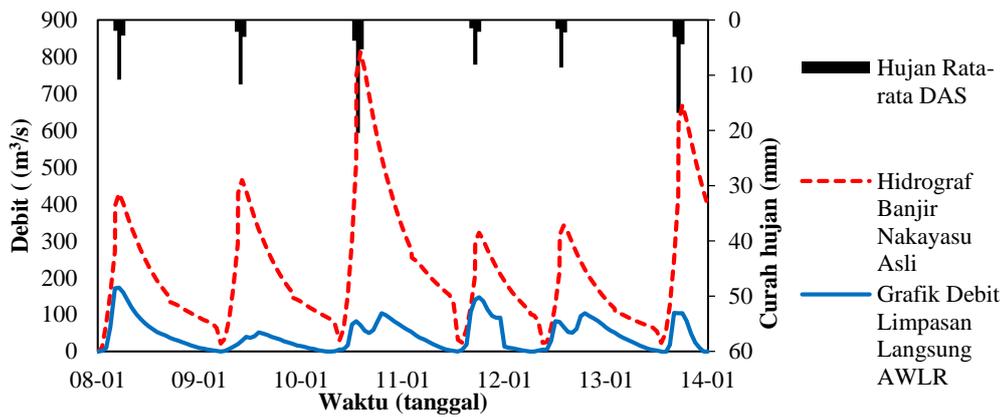
Tabel 4. Persamaan Metode *Nakayasu*

No.	Persamaan	Keterangan
1	$t_g = 0,4 + 0,058 L, L > 15 \text{ km}$	Panjang sungai utama 68 km
2	$T_r = 0,5 t_g$	
3	$T_P = t_g + 0,8 T_r$	
4	$\alpha = 3$	Bagian naik hidrograf sangat cepat dan bagian turun sangat lambat
5	$T_{0,3} = \alpha \times t_g$	
6	$Q_p = \frac{A \times R_0}{3,6 (0,3T_P + T_{0,3})}$	Luas DAS 1502,1 km <sup>2</sup>
7	$Q_a = Q_p \left(\frac{t}{T_P}\right)^{2,4}$	Lengkung naik
8	$Q_{d1} = Q_p \times 0,3 \frac{t - T_P}{T_{0,3}}$	Lengkung turun 1
9	$Q_{d2} = Q_p \times 0,3 \frac{(t - T_P) + 0,5 T_{0,3}}{1,5 T_{0,3}}$	Lengkung turun 2
10	$Q_{d3} = Q_p \times 0,3 \frac{(t - T_P) + 1,5 T_{0,3}}{2 T_{0,3}}$	Lengkung turun 3

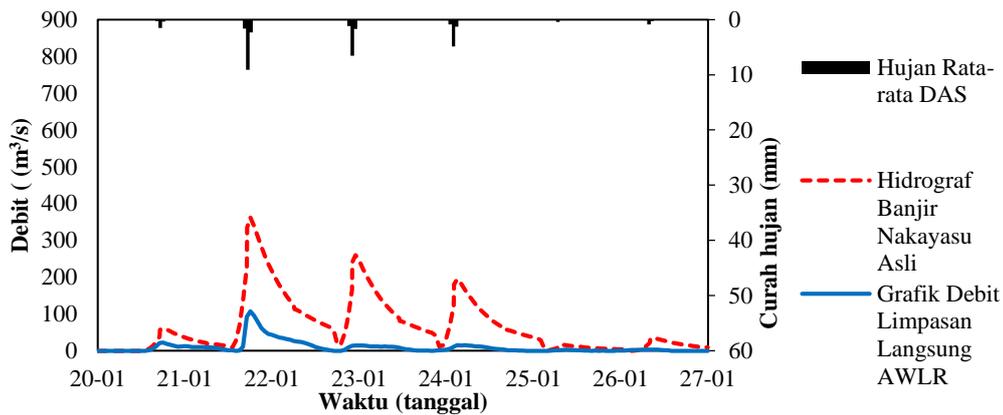
(Triatmodjo, 2008)



Gambar 14. Hidrograf *Nakayasu* dan pengamatan tanggal 1-7 Januari 2012



Gambar 15. Hidrograf *Nakayasu* dan pengamatan tanggal 8-13 Januari 2012



Gambar 16. Hidrograf *Nakayasu* dan pengamatan tanggal 20-26 Januari 2012

Dari hasil analisis seperti ditunjukkan Gambar 14, 15, dan 16 diperoleh bahwa nilai debit hasil pemodelan hidrograf cenderung lebih besar dibanding data debit pengukuran. Nilai kesesuaian ( $R^2$ ) yang diperoleh, ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Nilai  $R^2$  Metode *Nakayasu*

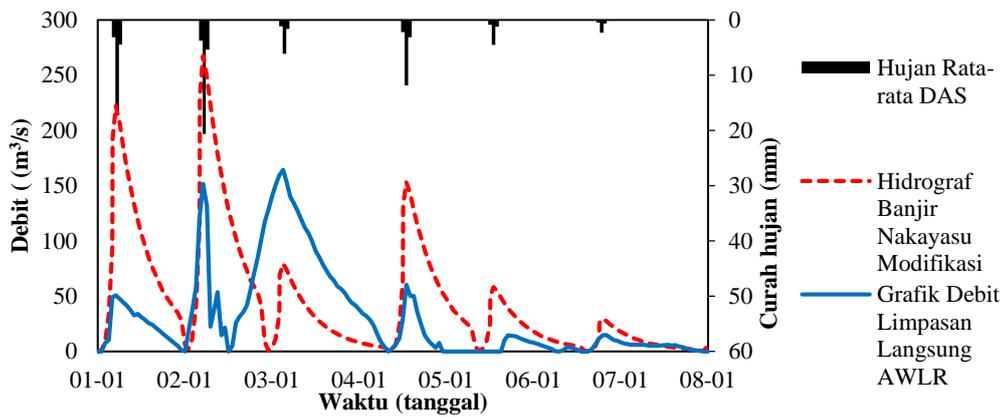
Kondisi	$R^2$
1	0.101
2	0.245
3	0.665

### Hasil Analisis Hidrograf Banjir Metode *Nakayasu* Modifikasi

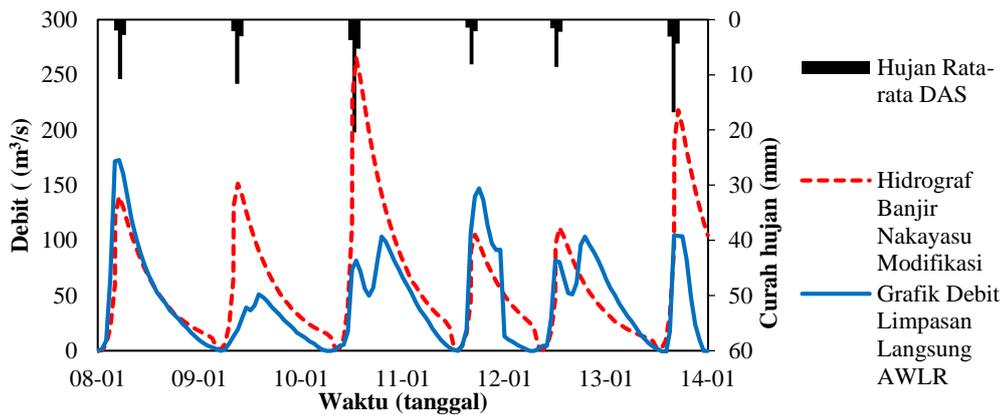
Perbandingan antara parameter dan konstanta metode *Nakayasu* asli dengan modifikasi ditunjukkan pada Tabel 6. Hasil analisis ditunjukkan pada Gambar 17, 18, dan 19.

Tabel 6. Perbandingan antara parameter & konstanta asli dengan modifikasi

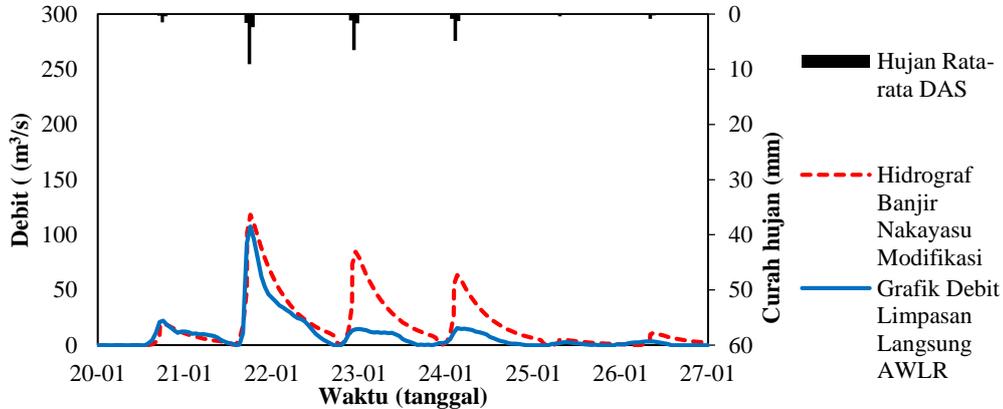
No	Parameter dan/atau konstanta persamaan	Asli	Modifikasi
1	Parameter $\alpha$	3	10
2	Pangkat persamaan $Q_a$	2,4	4,8
3	Konstanta $T_{0.3}$ pada persamaan $Q_{d1}$	1	0,25



Gambar 17. Hidrograf modifikasi *Nakayasu* dan pengamatan tanggal 1-7 Januari 2012



Gambar 18. Hidrograf modifikasi *Nakayasu* dan pengamatan tanggal 8-13 Januari 2012



Gambar 19. Hidrograf modifikasi *Nakayasu* dan pengamatan tanggal 20-26 Januari 2012

Hasil analisis dengan parameter ataupun konstanta modifikasi pada Tabel 6 ditunjukkan oleh Gambar 17, 18, dan 19. Nilai kesesuaian ( $R^2$ ) yang diperoleh, ditunjukkan pada Tabel 7.

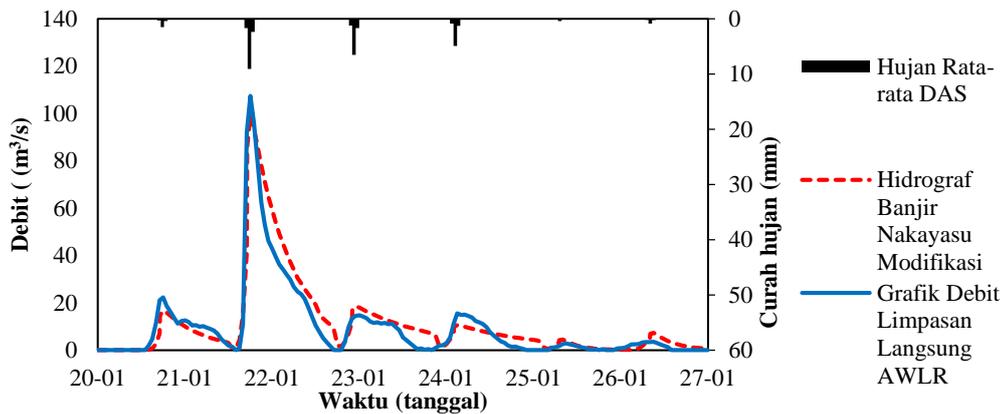
Tabel 7. Nilai  $R^2$  Metode *Nakayasu* Modifikasi

Kondisi	$R^2$
1	0.098
2	0.327
3	0.658

Namun hasil tersebut secara keseluruhan belum terlihat sesuai dengan data debit pengukuran, sehingga dilakukan analisis terpisah untuk masing-masing tanggal pada Kondisi 3 seperti ditunjukkan pada Tabel 8. Kondisi 3 dipilih karena nilai  $R^2$  lebih besar dari 0,5 sehingga mempermudah proses analisis. Hasil analisis menunjukkan peningkatan nilai  $R^2$  pada Kondisi 3 menjadi 0.876. Hidrograf hasil analisis dan nilai  $R^2$  untuk masing-masing tanggal ditunjukkan pada Gambar 20 dan Tabel 9 secara berurutan.

Tabel 8. Perbandingan antara parameter & konstanta asli dengan modifikasi lanjutan

No	Parameter dan/atau konstanta persamaan	Asli	Modifikasi tanggal				
			21	22	23	24	26
1	Parameter $\alpha$	3	4	8	9	4	4,5
2	Konstanta persamaan $T_{0,3}$	1	3	4	7	3	3,5
3	Pangkat persamaan $Q_a$	2,4	4,8	2,4	2	2	2
4	Konstanta $T_{0,3}$ pada persamaan $Q_{dl}$	1	0,25	0,125	0,1	0,1	0,1



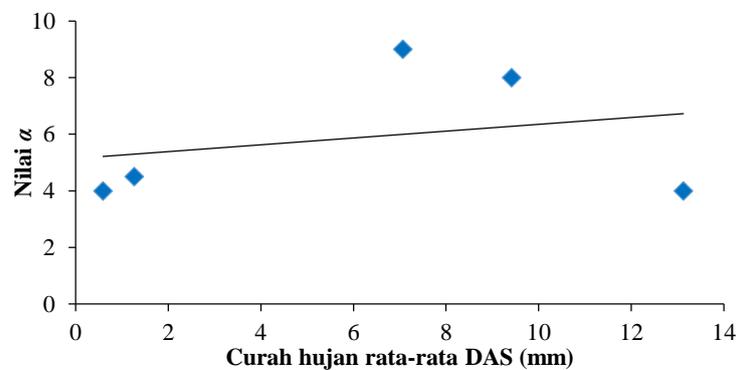
Gambar 20. Hidrograf modifikasi *Nakayasu* dan pengamatan tanggal 20-26 Januari 2012

Tabel 9. Nilai  $R^2$  Metode *Nakayasu* Modifikasi pada Kondisi 3

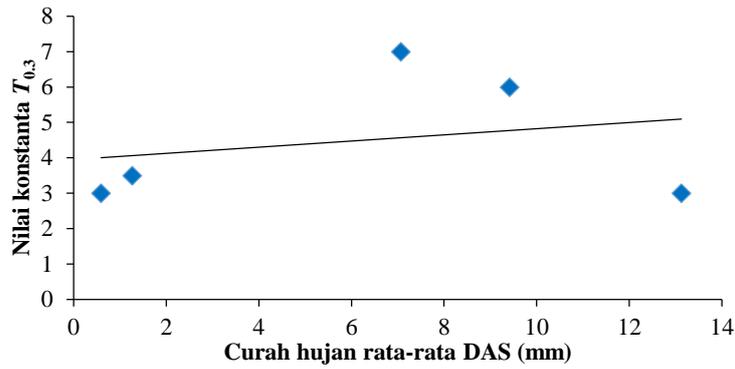
Tanggal	$R^2$
20	0.830
21	0.861
22	0.939
23	0.698
24	0.912
25	0.379
26	0.240

Dari hasil analisis ini didapatkan grafik parameter yang dapat digunakan untuk kalibrasi parameter persamaan HSS *Nakayasu* dalam analisis hidrograf banjir di Sub DAS

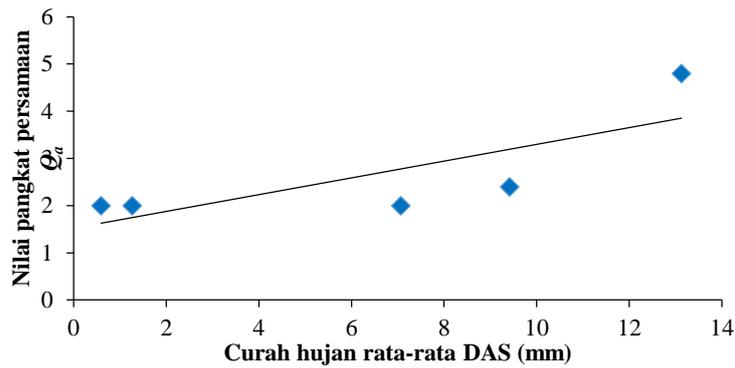
Progo hulu berdasarkan nilai curah hujan rata-rata DAS, seperti ditunjukkan pada Gambar 21, 22, 23, dan 24.



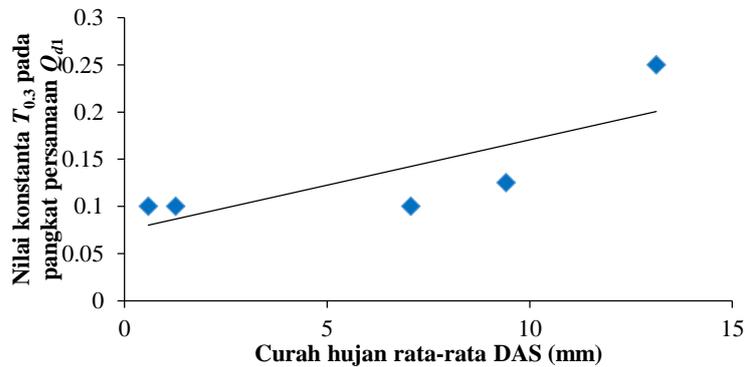
Gambar 21. Grafik nilai parameter  $\alpha$



Gambar 22. Grafik nilai konstanta  $T_{0.3}$



Gambar 23. Grafik nilai pangkat persamaan  $Q_a$



Gambar 24. Grafik nilai konstanta  $T_{0.3}$  pada pangkat persamaan  $Q_{a1}$

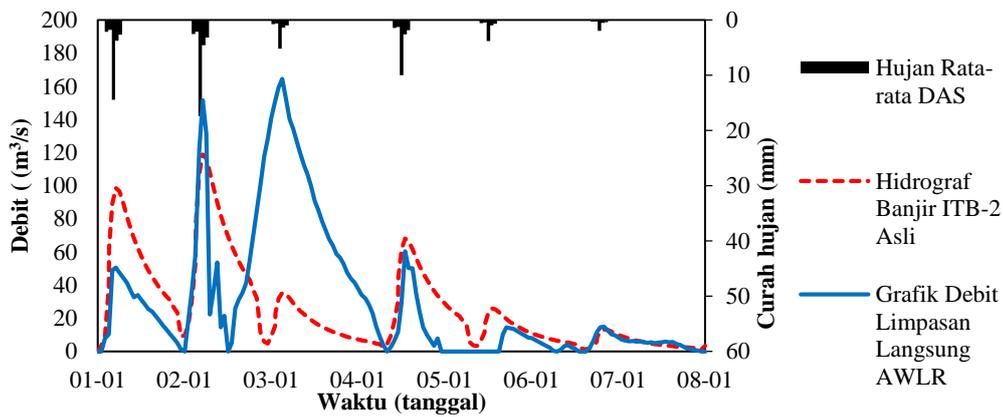
## Hasil Analisis Hidrograf Banjir Metode ITB-2

Persamaan metode ITB-2 yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 10. Hasil analisis ditunjukkan pada Gambar 25, 26, dan 27.

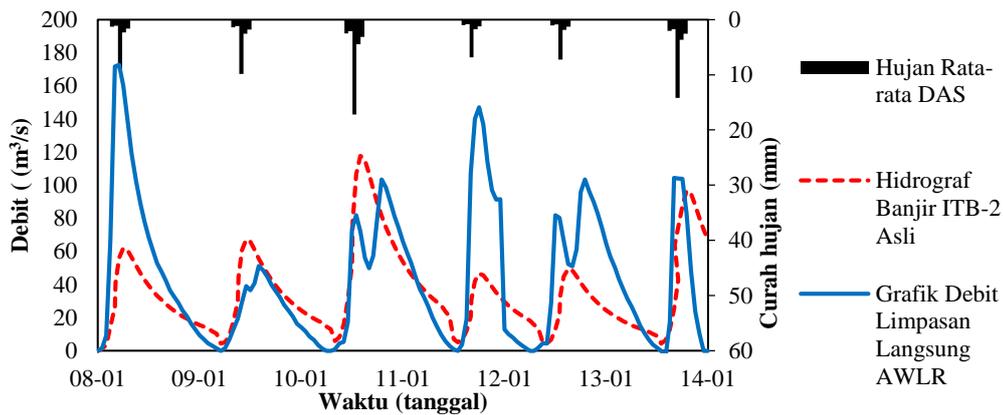
Tabel 10. Persamaan Metode ITB-2

No.	Persamaan	Keterangan
1	$T_L = C_t \times 0,527 + 0,058 L, L > 15 \text{ km}$	Panjang sungai utama 68 km
2	$T_P = 1,6 T_L$	
3	$T_b = 10 T_P$	
4	$Q_p = \frac{A_{DAS} \times R}{3,6 T_P \times A_{HSS}}$	Luas DAS 1502,1 km <sup>2</sup>
5	$q(t) = t^a$	Lengkung naik
6	$q(t) = \exp(1 - t^{\beta \times C_P})$	Lengkung turun

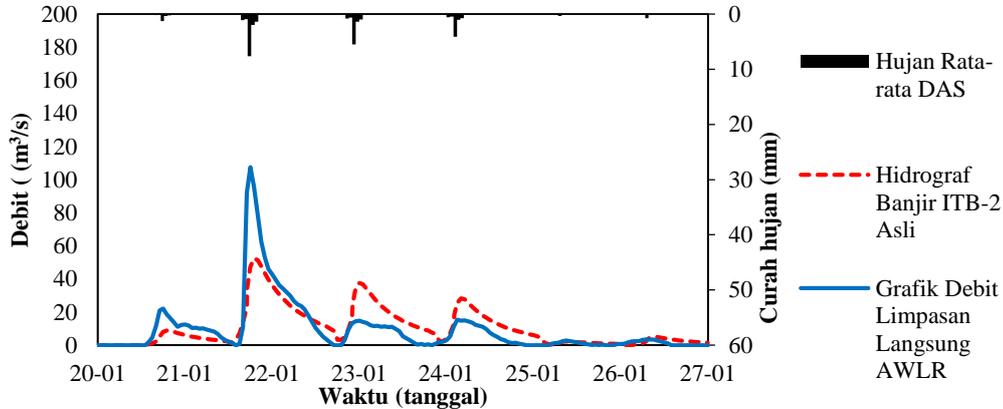
(Natakusumah dkk., 2011)



Gambar 25. Hidrograf ITB-2 dan pengamatan tanggal 1-7 Januari 2012



Gambar 26. Hidrograf ITB-2 dan pengamatan tanggal 8-13 Januari 2012



Gambar 27. Hidrograf ITB-2 dan pengamatan tanggal 20-26 Januari 2012

Dari hasil analisis seperti ditunjukkan Gambar 25, 26, dan 27 diperoleh bahwa nilai debit hasil pemodelan hidrograf cenderung lebih kecil dibanding data debit pengukuran. Nilai kesesuaian ( $R^2$ ) yang diperoleh, ditunjukkan pada Tabel 11.

Tabel 11. Nilai  $R^2$  Metode ITB-2

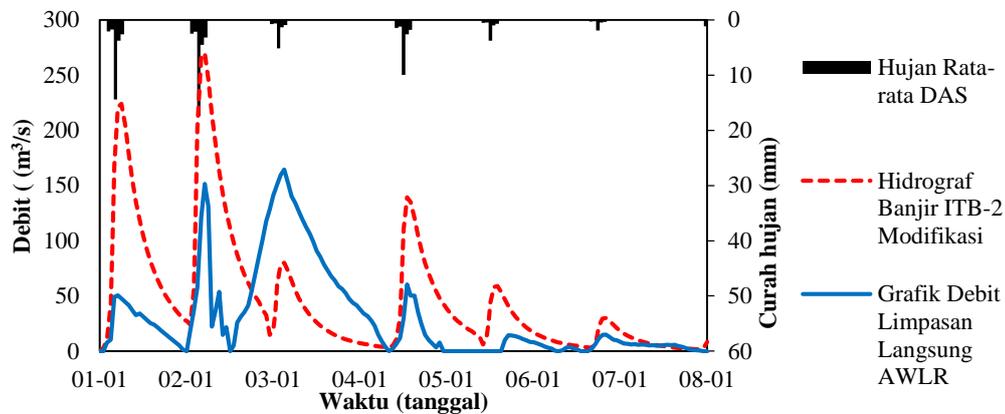
Kondisi	$R^2$
1	0.101
2	0.252
3	0.611

### Hasil Analisis Hidrograf Banjir Metode ITB-2 Modifikasi

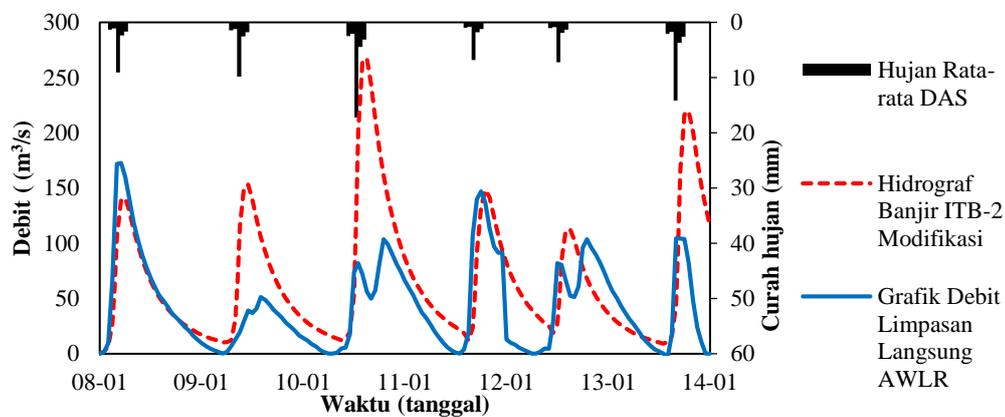
Perbandingan antara parameter dan konstanta metode ITB-2 asli dengan modifikasi ditunjukkan pada Tabel 12. Hasil analisis ditunjukkan pada Gambar 28, 29, dan 30.

Tabel 12. Perbandingan antara parameter & konstanta asli dengan modifikasi

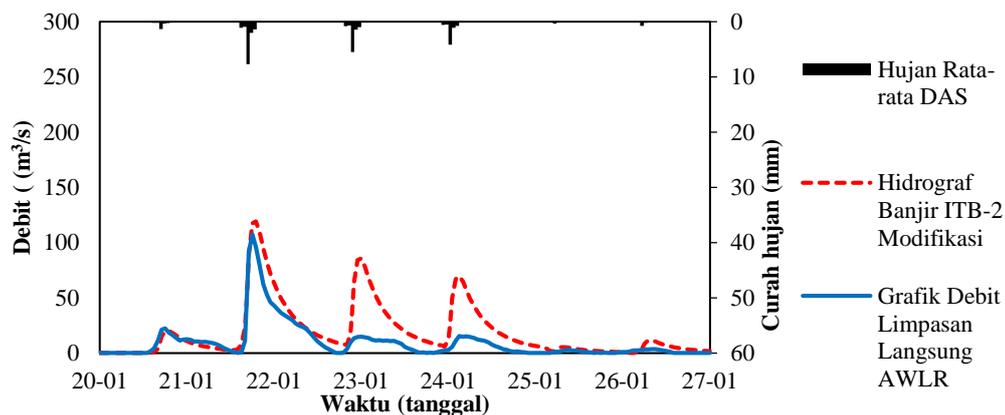
No	Parameter dan/atau konstanta persamaan	Asli	Modifikasi
1	Konstanta $T_L$ pada persamaan $T_P$	1,6	1



Gambar 28. Hidrograf modifikasi ITB-2 dan pengamatan tanggal 1-7 Januari 2012



Gambar 29. Hidrograf modifikasi ITB-2 dan pengamatan tanggal 8-13 Januari 2012



Gambar 30. Hidrograf modifikasi ITB-2 dan pengamatan tanggal 20-26 Januari 2012

Hasil analisis dengan parameter ataupun konstanta modifikasi pada Tabel 12 ditunjukkan oleh Gambar 28, 29, dan 30. Nilai kesesuaian ( $R^2$ ) yang diperoleh, ditunjukkan pada Tabel 13.

Tabel 13. Nilai  $R^2$  Metode ITB-2 Modifikasi

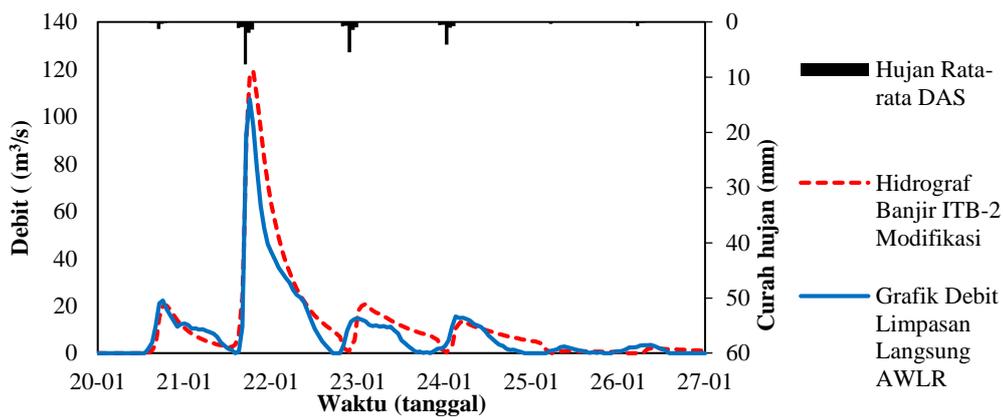
Kondisi	$R^2$
1	0.119
2	0.316
3	0.672

Namun hasil tersebut secara keseluruhan belum terlihat sesuai dengan data debit pengukuran, sehingga dilakukan analisis terpisah untuk masing-masing tanggal pada Kondisi 3 seperti ditunjukkan pada Tabel 14. Kondisi 3 dipilih karena nilai  $R^2$  lebih besar dari 0,5 sehingga mempermudah proses

analisis. Hasil analisis menunjukkan peningkatan nilai  $R^2$  pada Kondisi 3 menjadi 0.930. Hidrograf hasil analisis dan nilai  $R^2$  untuk masing-masing tanggal ditunjukkan pada Gambar 31 dan Tabel 15 secara berurutan.

Tabel 14. Perbandingan antara parameter & konstanta asli dengan modifikasi lanjutan

No	Parameter dan/atau konstanta persamaan	Asli	Modifikasi tanggal				
			21	22	23	24	26
1	Konstanta $T_L$ pada persamaan $T_P$	1,6	1	2,4	2,8	2,9	2,9



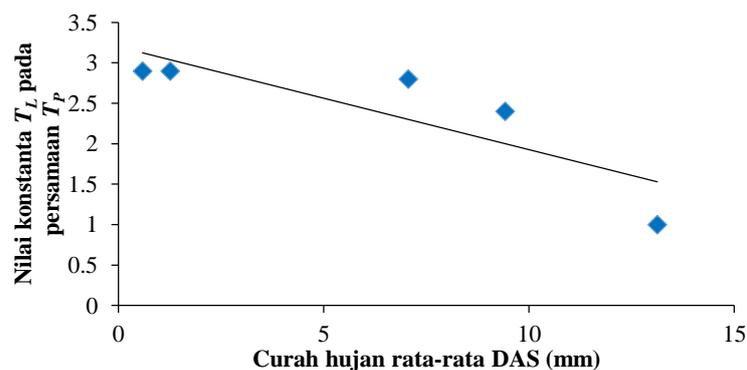
Gambar 31. Hidrograf modifikasi ITB-2 dan pengamatan tanggal 20-26 Januari 2012

Tabel 15. Nilai  $R^2$  Metode ITB-2 Modifikasi pada Kondisi 3

Tanggal	$R^2$
20	0.912
21	0.945
22	0.821
23	0.763
24	0.525
25	0.104
26	0.031

Dari hasil analisis ini didapatkan grafik parameter yang dapat digunakan untuk kalibrasi parameter persamaan HSS ITB-2 dalam analisis hidrograf banjir di Sub DAS

Progo hulu berdasarkan nilai curah hujan rata-rata DAS, seperti ditunjukkan pada Gambar 32.



Gambar 32. Grafik nilai konstanta  $T_L$  pada pangkat persamaan  $T_P$

#### 4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa perlu dilakukan kalibrasi parameter dan modifikasi persamaan pada hidrograf analisis Metode *Nakayasu* dan ITB untuk menghasilkan hidrograf yang menyerupai data *AWLR* Borobudur Januari 2012.

Dari proses modifikasi, nilai parameter  $\alpha$  *Nakayasu* sama dengan 10, nilai pangkat persamaan  $Q_a = 4,8$ , dan nilai konstanta pada  $T_{0.3}$  pada persamaan  $Q_{d1}$  adalah 0,25, serta nilai parameter dari Metode ITB, nilai konstanta untuk  $T_L$  pada persamaan  $T_P = 1$ . Dari parameter di atas, bentuk hidrograf baik Metode *Nakayasu* maupun ITB pada Kondisi 3 telah menyerupai data limpasan langsung *AWLR* dengan nilai  $R^2$  lebih besar dari 0,5, namun tidak demikian pada Kondisi 1 dan Kondisi 2 dengan nilai  $R^2$  lebih kecil dari 0,5.

Dari analisis indeks kesesuaian, Metode yang paling sesuai untuk digunakan dalam analisis hidrograf banjir di Sub DAS Progo hulu adalah Metode ITB-2 Modifikasi.

Perbedaan nilai debit banjir dan bentuk hidrograf Metode *Nakayasu* dan ITB dengan nilai debit dan bentuk grafik limpasan langsung *AWLR* besar kemungkinan disebabkan oleh jenis penutup lahan, jenis tanah, dan tingkat permeabilitas tanah pada Sub DAS Progo.

#### 5. Daftar Pustaka

- Hoffmeister, G. dan Weisman, R.N., 1977, Accuracy of Synthetic Hydrographs Derived from Representative Basins, *Hydrological Sciences Bulletin*, 22(2), 297-312.
- Husain, A., 2017, Development of Synthetic Unit Hydrograph at Kakkadavu Dam, *International Journal of Mechanics and Solids*, 9(1), 113-124.
- Limantara, L.M., 2009, The Limiting Physical Parameters of Synthetic Unit Hydrograph, *World Applied Sciences Journal*, 7(6), 802-804.
- Natakusumah, D.K., Hatmoko, W. dan Harlan D., 2011, Prosedur Umum Perhitungan Hidrograf Satuan Sintetis dengan Cara ITB dan Beberapa Contoh Penerapannya, *Jurnal Teknik Sipil*, 18(3), 251-291.
- Patel, J.N. dan Thorvat, A.R., 2016, Synthetic Unit Hydrograph Development for Ungauge Basins Using Dimensional Analysis, *Journal AWWA (American Water Works Association)*, 108(3), E145-E153.
- Permatasari R., Natakusumah, D.K. dan Sabar, A., 2017, Determining Peak of Discharge Factor Using Synthetic Unit Hydrograph Modelling (Case Study: Upper Komering South Sumatera, Indonesia), *International Journal of Geomate*, 13(36), 1-5.
- Priyantoro, D. dan Limantara, L.M., 2017, Conformity Evaluation of Synthetic Unit Hydrograph (Case Study at Upstream Brantas Sub Watershed, East Java Province of Indonesia), *Journal of Water and Land Development*, 35(10-12), 173-183.
- Safarina, A.B., 2012, Modified Nakayasu Synthetic Unit Hydrograph Method for Meso Scale Ungauge Watersheds, *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)*, 2(4), 649-654.
- Safarina, A.B., Salim, H.T., Hadihardaja, I.K. dan Kusuma, M.S.B., 2011, Clusterization of Synthetic Unit Hydrograph Methods Based on Watershed Characteristics, *International Journal of Civil & Environmental Engineering IJCEE-IJENS*, 11(6), 76-85.
- Salim, N., 2015, Determining The Coefficient of Tr,  $\alpha$ , and River Length (L) of Flood Runoff Model Using Synthetic Unit Hydrograph Nakayasu (Case Bedadung Watershed Jember), *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE)*, 12(6-6), 24-31.
- Triatmodjo, B., 2008, *Hidrologi Terapan*, Beta Offset, Yogyakarta.
- Tunas, I G., Anwar, N. dan Lasminto, U., 2017, The Improvement of Synthetic Unit Hydrograph Performance by Adjusting Model Parameters for Flood Prediction, *International Journal of*

*Engineering and Technology*, 9(2), 847-858.