

APLIKASI METODE *NASH* PADA PERHITUNGAN LIMPASAN LANGSUNG MENGGUNAKAN DATA HUJAN *GPM 3IMERGHH* STUDI KASUS SUBDAS WINONGO HULU

Puji Harsanto^{1*}, Hanan Eko Prihatmanti¹, dan Bayu Krisna Wisnulingga²

¹Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik,
Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Yogyakarta

²Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik,
Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

*puji_hr@umy.ac.id

Pemasukan: 19 Juni 2022 Perbaikan: 24 Juni 2022 Diterima: 27 Juni 2022

Intisari

Data hujan merupakan data utama yang dapat ditransformasi menjadi data debit aliran sebagai pengganti data debit terukur untuk analisis hidrologi, sehingga keterbatasan data hujan terukur merupakan hambatan yang cukup besar. Data hujan terukur dari sisi jumlah dan interval waktu pendek masih belum tersedia secara merata di seluruh wilayah Indonesia. Perkembangan teknologi saat ini memberikan opsi lain sebagai pengganti data hujan terukur untuk dapat dimanfaatkan dalam analisis hidrologi. Salah satu teknologi modern yang dirasa dapat mengganti ketidak-tersediaan data hujan terukur adalah data hujan satelit. Data hujan satelit telah mencakup secara merata di seluruh wilayah Indonesia dengan interval waktu pendek. Salah satu data hujan satelit yang dapat dimanfaatkan dan ditransformasi menjadi debit aliran adalah data hujan satelit *GPM 3IMERGHH*. Penelitian dilakukan di subDAS Winongo hulu pada tanggal 19 s/d 21 Februari 2017 dengan menerapkan Metode *Nash* pada data hujan satelit *GPM 3IMERGHH* yang ditinjau berdasarkan grid spasialnya untuk mengetahui perbandingan hidrograf limpasan langsung dari data hujan satelit *GPM 3IMERGHH* di subDAS Winongo hulu dan data terukur dari subDAS lain dengan karakteristik serupa. Perbandingan debit limpasan langsung subDAS Winongo hulu dan subDAS Code hulu menunjukkan hasil yang cukup sejajar, dengan demikian metode satuan *Nash* dianggap dapat digunakan untuk menganalisis hidrograf.

Kata Kunci : data hujan satelit, *GPM 3IMERGHH*, Metode *Nash*,
subDAS Winongo hulu, limpasan langsung

Latar Belakang

Umumnya, data debit pengukuran lapangan (data debit terukur) adalah data utama dalam analisis pembentukan hidrograf. Karena sulitnya memperoleh data debit terukur, maka diperlukan metode transformasi dalam mengalihragamkan hujan menjadi aliran (debit) dalam pembentukan hidrograf banjir. Metode transformasi yang sering digunakan untuk menghasilkan aliran (debit) untuk pembentukan hidrograf hidrograf banjir adalah hidrograf limpasan langsung. Untuk membuat hidrograf limpasan langsung biasanya digunakan data curah hujan rata-rata seluruh DAS dari beberapa stasiun.

Menurut Cao dkk. (2018), curah hujan merupakan komponen kunci dari keseimbangan energi dan siklus air, dan juga memiliki peran penting dalam pembentukan cuaca regional dan iklim global. Oleh karena itu data curah hujan yang tepat pada resolusi spasial dan temporal yang tinggi sangat diinginkan untuk berbagai bidang penelitian, seperti iklim musim, cuaca ekstrim, dan prediksi banjir.

Data hujan dari sisi jumlah, data hujan interval jam-jaman, dan durasi pendek masih jarang di Indonesia. Namun dengan kemajuan teknologi saat ini, satelit dapat digunakan untuk mendapatkan data hujan yang tidak terpasang alat pencatat curah hujan tanpa perlu mengukur langsung di lapangan.

Satelit yang dapat digunakan untuk mendapatkan data curah hujan adalah satelit *TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission)* dan satelit *GPM (Global Precipitation Measurement)* yang menggunakan data hujan simulasi atau dugaan cuaca seperti data hujan. Pemanfaatan data curah hujan yang didapat dari kedua satelit tersebut mempermudah dalam analisis curah hujan untuk jangka waktu yang panjang pada suatu sungai atau DAS.

Menurut Giarno dkk. (2018), estimasi curah hujan *TRMM* harian menunjukkan akurasi yang tinggi. Berdasarkan penelitian Cao dkk. (2018) di Sungai Yangtze, data curah hujan satelit tertentu seperti *TRMM 3B43* dan data hujan terukur menunjukkan perbandingan yang baik.

Tan dan Duan (2017) melakukan penelitian menggunakan data *GPMIMERG*, *TMPA3B42* dan *TMPA3B42RT* di Singapura dengan memperkirakan curah hujan tahunan, musiman, bulanan dan harian di Singapura menggunakan pengukuran dari 48 pengukur untuk periode umum dari April 2014 hingga Januari 2016. Dari hasil penelitian, ketiga data untuk perkiraan curah hujan harian, curah hujan bulanan dan tahunan dari SPP lebih cocok untuk digunakan untuk aplikasi terkait di Singapura.

Gu dkk. (2010) melakukan penelitian penggunaan data satelit *TRMM 3B42V6* dibandingkan dengan alat pengukur hujan di DAS sungai Yangtze di Cina Selatan. Data *TRMM* dapat mencerminkan karakteristik temporal dan spasial dari distribusi curah hujan. Seri curah hujan *TRMM 3B42V6* menunjukkan hubungan yang baik dengan data hujan terukur pada skala waktu harian dan bulanan.

Rusli (2017) mengevaluasi penggunaan data satelit *TRMM* tidak terkoreksi dalam pemodelan neraca air harian pada DAS Cikapundung hulu dengan mengkalibrasi model *HBV96* menggunakan data debit curah hujan terukur dan data curah hujan *TRMM*. Dari hasil penelitian, korelasi hujan bulanan cukup baik, sedangkan korelasi hujan harian kurang baik.

Menurut Maggioni dkk. (2016), data curah hujan dari satelit *TRMM* dapat digunakan untuk analisis hidrologi, tapi harus diuji lagi. Namun menurut Collischonn dkk. (2008), alat ukur hujan konvensional masih merupakan cara yang lebih dapat diandalkan untuk menghitung curah hujan dari pada perkiraan satelit *TRMM*.

Li dkk. (2012) membandingkan curah hujan *TRMM* dengan data hujan harian dan bulanan, serta mengevaluasi kegunaan dari curah hujan *TRMM* untuk simulasi proses hidrologi dan analisis neraca air di DAS Xinjiang, Cina menggunakan *The*

WATLAC model dengan hasil simulasi proses hidrologi harian menunjukkan bahwa data hujan terukur menghasilkan keseluruhan yang baik, namun hasil untuk data curah hujan harian *TRMM* kurang baik.

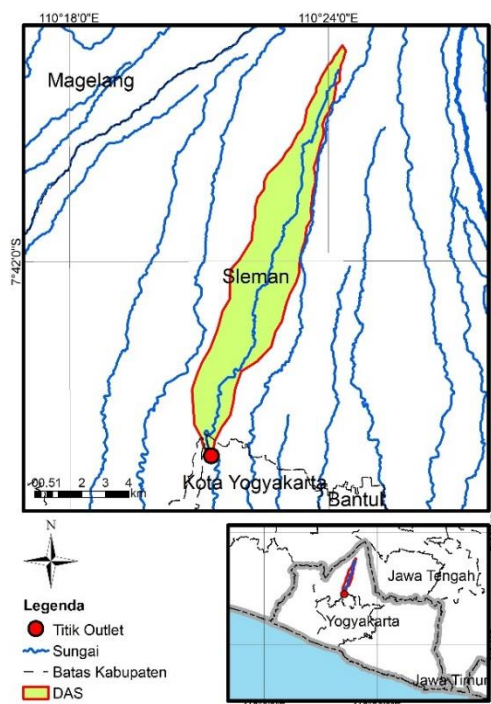
Menurut Menurut Kołodziejczyk (2017), tujuan dari hidrograf satuan *Nash* ini adalah untuk mengubah curah hujan yang efektif menjadi debit. Curah hujan efektif berfungsi sebagai parameter dasar dalam metode *Nash*. Penggunaan hidrograf satuan *Nash* masih jarang digunakan di Indonesia. Berdasarkan penelitian Chen dkk. (2019), metode *Nash* sangat baik untuk memperkirakan limpasan langsung.

Data sumber terbuka (*open source*) yang dapat digunakan dan perlu dicoba adalah data hujan dari satelit *GPM 3IMERGHH*. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kesesuaian data hujan satelit *GPM 3IMERGHH* terhadap data terukur dengan analisis limpasan langsung sesaat dari hidrograf satuan *Nash* menggunakan data curah hujan satelit *GPM 3IMERGHH* di subDAS Winongo hulu yang terdistribusi di setiap grid yang berbeda. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai referensi pada perencanaan debit banjir rancangan di Sungai Winongo hulu.

Metodologi Studi

Lokasi Penelitian

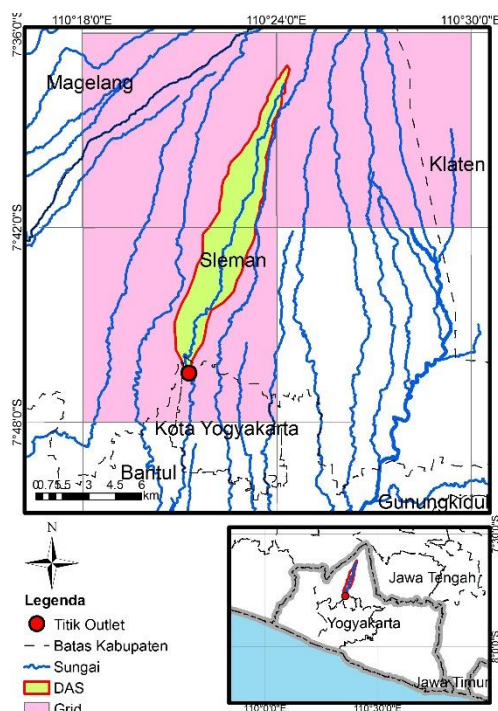
Sungai Winongo merupakan salah satu sungai besar yang ada Daerah Istimewa Yogyakarta. Sungai Winongo memiliki panjang adalah $\pm 43,8$ km dan mengalir dari beberapa sungai kecil di Gunung Merapi daerah Kabupaten Sleman, dan berakhir di Sungai Deggung daerah Kabupaten Bantul. Penelitian ini dilakukan di Sungai Winongo bagian hulu dengan panjang sungai $\pm 20,7$ km dari hulu sungai ke titik outlet. Peta batas dan lokasi subDAS Winongo hulu ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Data Curah Hujan Satelit

Menurut interval waktunya, data curah hujan satelit *GPM* terbagi menjadi hujan setengah jam-an, hujan harian dan hujan bulanan dengan setiap ukuran grid resolusi spasial $0,1^{\circ} \times 0,1^{\circ}$ ($11,1 \text{ km} \times 11,1 \text{ km}$) yang diunduh dari situs <https://giovanni.gsfc.nasa.gov>. Data curah hujan yang diunduh dari satelit *GPM 3IMERGHH* adalah data hujan dengan interval waktu setengah jam-an yang terbagi menjadi 3 grid yang berbeda dalam subDAS Winongo hulu pada tanggal 19 s/d 21 Februari 2017. Lokasi 3 grid yang diunduh ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Grid dalam subDAS Winongo hulu

Analisis Koefisien Aliran (C)

Koefisien aliran (*C*) merupakan bilangan yang menunjukkan perbandingan antara besarnya aliran permukaan terhadap besarnya curah hujan. Umumnya, tataguna lahan pada suatu lokasi yang luas akan berbeda-beda, oleh karena itu digunakan nilai *C* rata-rata yang dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$\bar{C} = \sum_{i=1}^n \frac{A_i C_i}{A} \tag{1}$$

$$\bar{C} = \frac{A_1 C_1 + A_2 C_2 + A_3 C_3 + \dots + A_n C_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n} \tag{2}$$

dimana:

- \bar{C} = koefisien aliran rata-rata DAS
- n = jumlah jenis tataguna lahan
- A = luas DAS (km^2)
- $C_1, C_2, C_3, \dots, C_n$ = koefisien tataguna lahan 1, 2, 3, ...n
- $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ = luas area yang mewakili tataguna lahan 1, 2, 3, ...n (km^2)

Nilai koefisien aliran (*C*) setiap tataguna lahan ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Koefisien Aliran *C* untuk masing-masing jenis tataguna lahan

Jenis Tataguna Lahan	Nilai <i>C</i>
Hutan Rimba	0.250
Padang Rumput	0.300
Perkebunan / Kebun	0.400
Gedung / Bangunan / Pemukiman	0.600
Sawah	0.200
Semak Belukar	0.070
Tegalan/Ladang	0.200

Analisis Hidrograf Satuan *Nash*

Hidrograf satuan yg digunakan dalam penelitian ini adalah hidrograf satuan Metode *Nash*. Rumus hidrograf satuan *Nash* adalah sebagai berikut.

$$q(t) = \frac{1}{(n-1)!K} \left(\frac{t}{K}\right)^{n-1} e^{-t/K} \tag{3}$$

$$Q(t) = 2,778 \frac{1}{\Delta t} q(t)A \tag{4}$$

dimana:

q(t) = hidrograf satuan *Nash* (m³/s)

t = waktu (jam)

e = fungsi eksponensial

n = parameter bentuk menunjukkan jumlah reservoir linear berdimensi

K = parameter skala yang menunjukkan koefisien penyimpanan dalam satuan waktu

Q(t) = Hidrograf satuan (m³/s)

A = luas DAS (km²)

Analisis Hidrograf Limpasan Langsung

Pada penelitian ini, untuk mendapatkan hasil hidrograf limpasan langsung harus mencari terlebih dahulu hasil dari debit bruto disetiap grid yang ada. Rumus debit bruto adalah sebagai berikut.

$$Q_{bruto} = \sum_{m=1}^{n \leq m} P_m q_{n-m+1} \tag{5}$$

dimana:

Q_{bruto} = debit bruto (m³/s)

P_m = hujan efektif (mm)

q_{n-m+1} = hidrograf satuan (m³/s)

n = jumlah ordinat dari hidrograf limpasan langsung

m = jumlah durasi yang beruntun

Setelah mendapatkan hasil debit bruto di setiap grid, selanjutnya untuk mendapatkan hasil akhir hidrograf limpasan langsung menggunakan rumus sebagai berikut.

$$Q_n = \Delta Q_{bruto} \times C \tag{6}$$

dimana:

Q_n = hidrograf limpasan langsung (m^3/s)

C = koefisien aliran

Analisis Perbandingan Volume Limpasan Langsung Sungai Code

Analisis perbandingan volume limpasan langsung dengan Sungai Code, dilakukan berdasarkan karakteristik kedua sungai tersebut sama. Sungai Winongo dan Sungai Code sama-sama terletak dibawah kaki Gunung Merapi. Membandingkan curah hujan dan volume limpasan langsung bertujuan untuk mengetahui apakah metode *Nash* dan satelit *GPM 3IMERGHH* dapat digunakan untuk analisis hidrograf. Perbandingan volume limpasan langsung dilakukan dengan menggunakan regresi linier atau garis *trendline* linier pada perangkat lunak *Ms. Excel*.

Hasil Studi dan Pembahasan

Karakteristik SubDAS Winongo Hulu

Data karakteristik subDAS Winongo hulu didapatkan dengan menggunakan perangkat lunak komputer *ArcMap 10.2* ditunjukkan pada Tabel 2. Luas masing-masing tataguna lahan pada subDAS Winongo hulu ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 2. Data karakteristik subDAS Winongo hulu

No.	Karakteristik	Nilai
1	Luas DAS	30.528 km ²
2	Panjang Sungai	20.66 km
3	Elevasi Hulu	598.15 m
4	Elevasi Hilir	129.00 m
5	<i>Slope</i>	0.0023

Tabel 3. Tataguna lahan subDAS Winongo hulu

No.	Jenis tataguna lahan	Luas (km ²)
1	Hutan Rimba	0.408
2	Padang Rumput	0.285
3	Perkebunan / Kebun	0.919
4	Gedung / Bangunan / Pemukiman	7.218
5	Sawah	21.382
6	Semak Belukar	0.003
7	Tegalan/Ladang	0.313
Jumlah		30.528

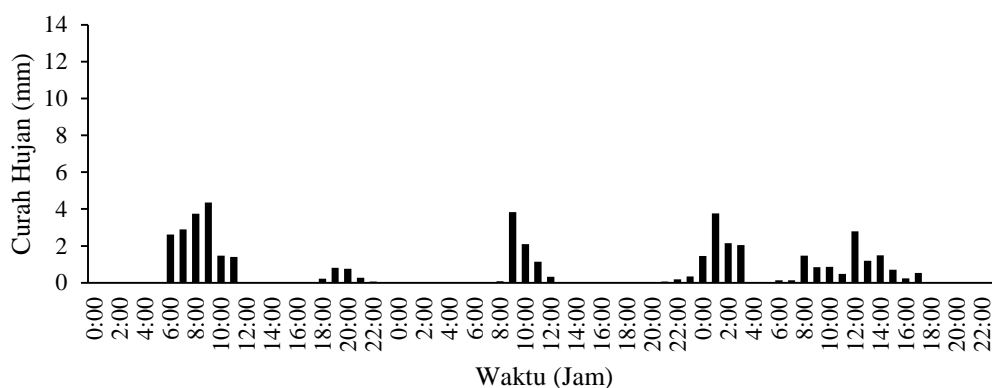
Data Curah Hujan

Data curah hujan yang diunduh dari Satelit *GPM 3IMERGHH* adalah data hujan dengan interval waktu setengah jam-an yang terbagi menjadi 3 grid yang berbeda dalam subDAS Winongo hulu pada tanggal 19 s/d 21 Februari 2017. Luasan 3 grid yang berpengaruh terhadap subDAS Winongo hulu ditunjukkan pada Tabel 4.

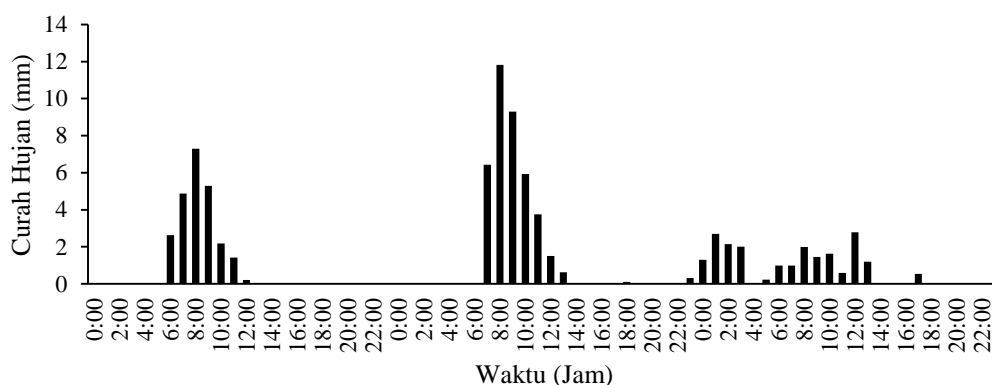
Tabel 4. Luasan grid dalam subDAS Winongo hulu

No.	Grid	Luas (km ²)
1	Grid 1	16.752
2	Grid 2	12.847
3	Grid 3	0.929
Jumlah		30.528

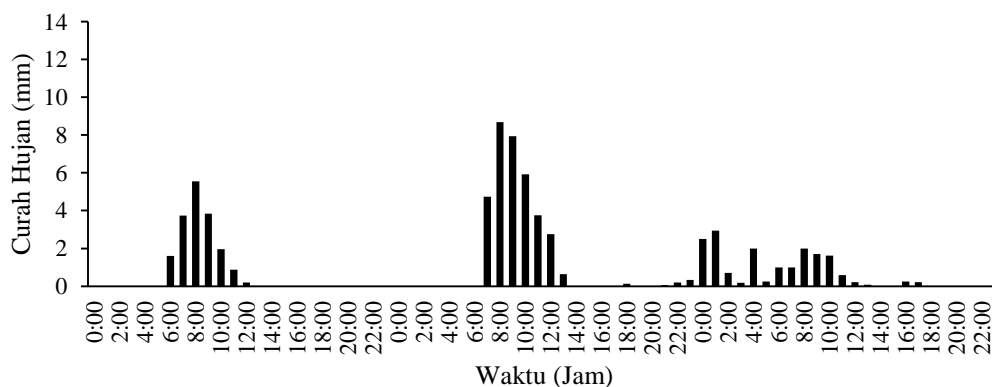
Data hujan setengah jam-an dijumlahkan tiap jamnya menjadi data hujan jam-jaman berdasarkan grid-nya seperti pada 19 s/d 21 Februari 2017 ditunjukkan pada Gambar 3, 4, dan 5.



Gambar 3. Curah hujan grid 1 pada tanggal 19 s/d 21 Februari 2017



Gambar 4. Curah hujan grid 2 pada tanggal 19 s/d 21 Februari 2017



Gambar 5. Curah hujan grid 3 pada tanggal 19 s/d 21 Februari 2017

Koefisien Aliran (C)

Nilai koefisien aliran (C) subDAS Winongo ditunjukkan pada Tabel 5.

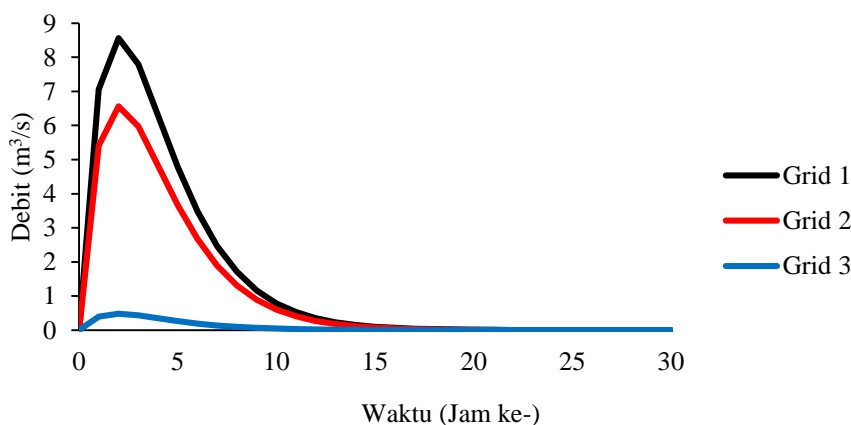
Tabel 5. Nilai koefisien aliran (C)

No.	Jenis Tataguna Lahan	Luas (km ²)	C	A × C	\bar{C}
1	Hutan Rimba	0.408	0.250	0.102	
2	Padang Rumput	0.285	0.300	0.086	
3	Perkebunan/Kebun	0.919	0.400	0.367	
4	Gedung/Bangunan / Pemukiman	7.218	0.600	4.331	0.302
5	Sawah	21.382	0.200	4.276	
6	Semak Belukar	0.003	0.070	0.000	
7	Tegalan/Ladang	0.313	0.200	0.063	
Jumlah		30.528		9.225	

Semakin besar nilai koefisien aliran (C) itu menunjukkan bahwa lebih banyak air hujan yang menjadi limpasan aliran permukaan dan memiliki dampak buruk bagi suatu daerah tersebut, seperti terjadinya erosi dan banjir yang lebih besar. Sebaliknya, nilai koefisien aliran (C) yang kecil atau yang mendekati 0 menunjukkan bahwa air hujan akan terdistribusi menjadi infiltrasi dan air intersepsi.

Hidrograf Satuan Nash

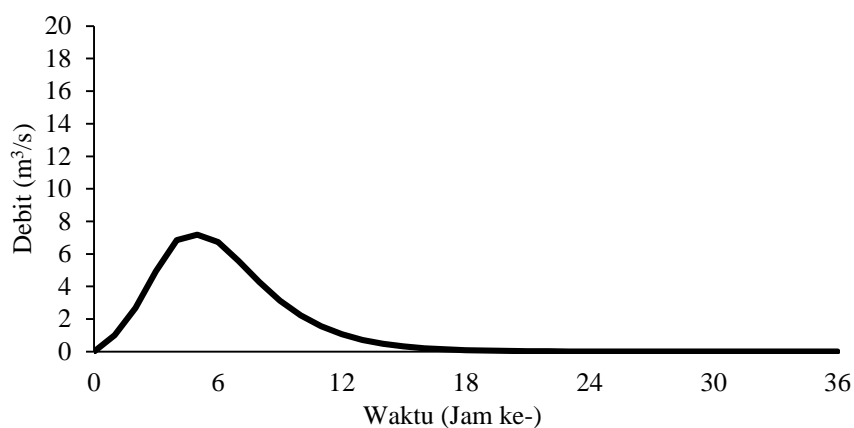
Data luas area di setiap grid subDAS Winongo hulu digunakan untuk mencari hasil nilai debit yang digunakan untuk hidrograf limpasan langsung nantinya. Hasil grafik hidrograf satuan Nash ditunjukkan pada Gambar 6.



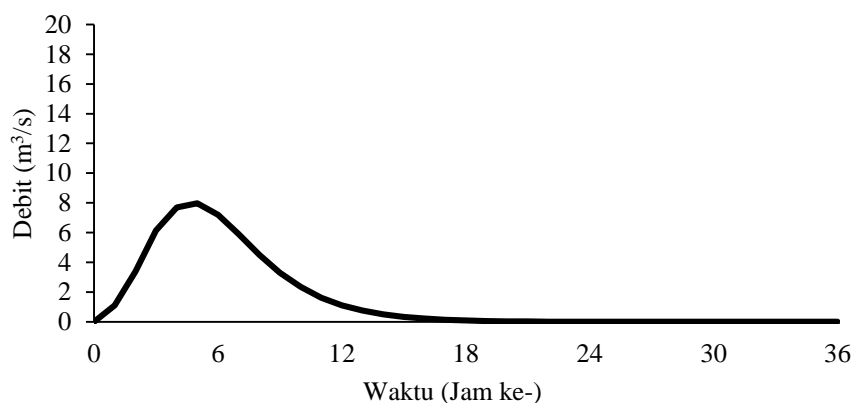
Gambar 6. Hidrograf satuan Nash pada subDAS Winongo hulu berdasarkan grid

Hidrograf Limpasan Langsung

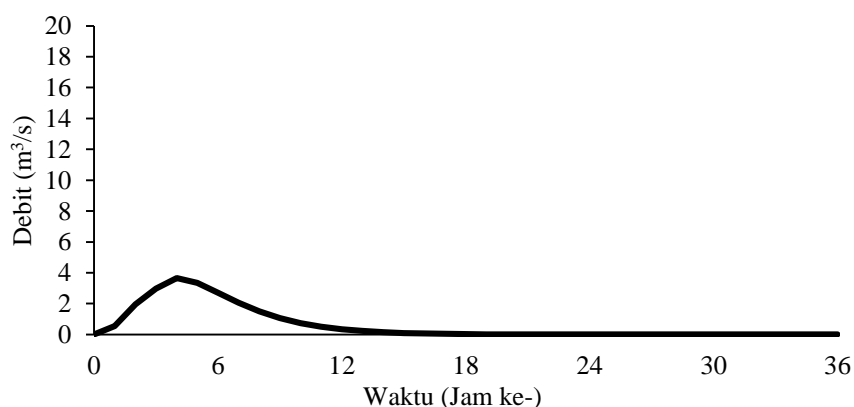
Dari hasil analisis debit bruto disetiap grid tersebut, analisis hidrograf limpasan langsung dapat dihitung menggunakan hasil dari penjumlahan seluruh debit bruto pada subDAS Winongo hulu dan mengalikannya dengan data koefisien aliran (C). Hasil analisis debit limpasan langsung disajikan pada Gambar 7, 8, dan 9.



Gambar 7. Hidrograf limpasan langsung pada tanggal 19 Februari 2017



Gambar 8. Hidrograf limpasan langsung pada tanggal 20 Februari 2017



Gambar 9. Hidrograf limpasan langsung pada tanggal 21 Februari 2017

Perbandingan Volume Limpasan Langsung Sungai Code

Untuk membandingkan debit limpasan langsung kedua subDAS, curah hujan dan volume limpasan data satelit *GPM IMERGHH* subDAS Winongo hulu dibandingkan dengan curah hujan dan volume limpasan data *ARR (Automatic*

Rainfall Recorder) dan AWLR (Automatic Water Level Recorder) subDAS Code hulu. Data karakteristik subDAS Code hulu dapat dilihat pada Tabel 6. Volume limpasan dan curah hujan ditampilkan pada Tabel 7 dan 8.

Tabel 6. Data karakteristik subDAS Code hulu

No.	Karakteristik	Nilai
1	Luas DAS	24.76 km ²
2	Panjang Sungai	27.44 km
3	Elevasi Hulu	1987.5 m
4	Elevasi Hilir	143.75 m
5	Slope	0.094

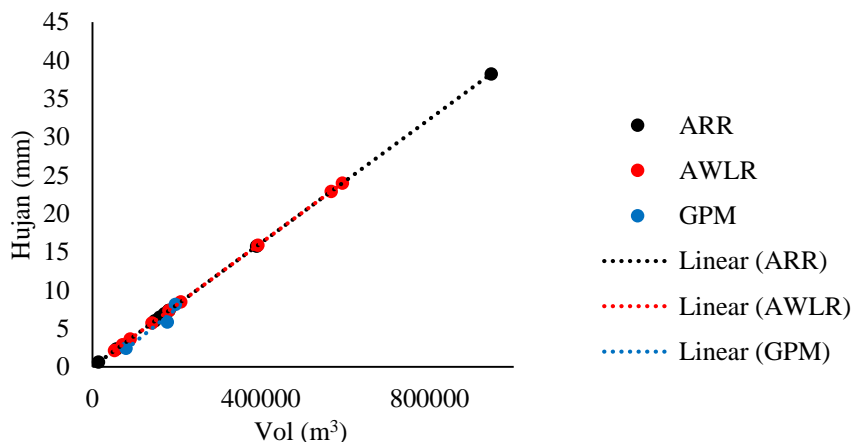
Tabel 7. Data volume limpasan dan curah hujan subDAS Code hulu

Tanggal	ARR		AWLR	
	Vol (m ³)	Hujan (mm)	Vol (m ³)	Hujan (mm)
20, 21 Jan 2017	14552.9	0.59	52282.7	2.11
16, 17 Mar 2017	159494	6.44	141487	5.72
26, 27 Nov 2017	57265.4	2.31	71221	2.88
16, 17 Jan 2018	170807	6.9	593656	23.98
18 Jan 2018	389694	15.74	392659	15.86
22, 23 Jan 2018	147955	5.98	566681	22.89
02, 03 Feb 2018	181103	7.32	209347	8.46
04, 05 Feb 2018	946453	38.23	89301.9	3.61
07, 08 Feb 2018	181252	7.32	181252	7.32

Tabel 8. Data volume limpasan dan curah hujan subDAS Winongo hulu

Tanggal	GPM	
	Vol (m ³)	Hujan (mm)
19 Feb 2017	177701	5.82
20 Feb 2017	196431	8.13
20 Feb 2017	79480.5	2.39

Hasil perbandingan volume limpasan langsung subDAS Winongo hulu dengan subDAS Code hulu disajikan pada Gambar 10.



Gambar 10. Perbandingan subDAS Winongo hulu dan subDAS Code hulu

Dari hasil perbandingan di atas menunjukkan bahwa volume *ARR* dan *AWLR* dari Sungai Code memiliki hasil yang sama dan untuk hasil volume dari satelit *GPM 3IMERGHH* Sungai Winongo menunjukkan garis yang sedikit sejajar dengan hasil volume dari Sungai Code. Perbedaan yang tidak terlalu besar tersebut terjadi karena karakteristik kedua sungai tersebut sedikit berbeda. Hasil tersebut dapat dijadikan acuan bahwa curah hujan dari satelit *GPM 3IMERGHH* dan penggunaan metode satuan *Nash* dapat digunakan untuk hidrograf.

Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

Dari hasil penelitian dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Nilai hasil hidrograf limpasan langsung dari data hujan satelit menggunakan metode hidrograf satuan *Nash* dengan model terdistribusi didapatkan debit tertinggi pada tanggal 19 sebesar 7,18 m³/s, untuk tanggal 20 sebesar 7,98 m³/s, dan pada tanggal 21 sebesar 3,67 m³/s.
2. Dari hasil grafik perbandingan debit limpasan langsung subDAS Winongo hulu dengan subDAS Code hulu menunjukkan hasil yang hampir sejajar, hasil tersebut menunjukkan bahwa metode satuan *Nash* dapat digunakan untuk menganalisis hidrograf.

Saran

Saran yang dapat disampaikan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut.

1. Pengujian dengan membandingkan data hujan dari satelit dan data hujan hasil pengukuran di lapangan yang lebih panjang agar mendapatkan data yang lebih akurat dan optimal serta dapat memberikan solusi terkait penelitian yang dilakukan.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terimakasih kami tujukan kepada Laboratorium Hidraulika Teknik Sipil, Universitas Gadjah Mada yang telah memberikan dukungan data-data *ARR* dan *AWLR* sehingga penelitian ini berjalan dengan baik.

Daftar Referensi

- Cao, Y., Zhang, W., dan Wang, W., 2018. Evaluation of TRMM 3B43 data over the Yangtze River Delta of China. *Scientific Reports*, Vol. 8(1): 1-12.
- Chen, Y., Shi, P., Qu, S., Ji, X., Zhao, L., Gou, J., dan Mou, S., 2019. Integrating XAJ Model with GIUH Based on Nash Model for Rainfall-Runoff Modelling. *Water*, Vol. 11(4): 772.
- Collischonn, B., Collischonn, W., dan Tucci, C.E.M., 2008. Daily hydrological modeling in the Amazon basin using TRMM rainfall estimates. *Journal of Hydrology*, Vol. 360 (1-4): 207-216.

- Giarno, G., Hadi, M.P., Suprayogi, S., dan Murti, S.H., 2018. Distribution of accuracy of TRMM daily rainfall in Makassar Strait. *Forum geografi*, Vol. 32(1): 38-52.
- Gu, H.H., Yu, Z.B., Yang, C.G., Ju, Q., Lu, B.H., dan Liang, C., 2010. Hydrological assessment of TRMM rainfall data over Yangtze River Basin. *Water Science and Engineering*, Vol. 3(4): 418-430.
- Kołodziejczyk, K., 2017. Assessment of the impact of a parameter estimation method for the Nash Model on selected parameters of a catchment discharge hydrograph. *E3S Web of Conferences*, Vol. 17: 00041.
- Li, X-H., Zhang, Q., dan Xu, C-Y., 2012. Suitability of the TRMM satellite rainfalls in driving a distributed hydrological model for water balance computations in Xinjiang catchment, Poyang lake basin. *Journal of Hydrology*, Vol. 426: 28-38.
- Maggioni, V., Meyers, P.C., dan Robinson, M.D., 2016. A review of merged high-resolution satellite precipitation product accuracy during the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) era. *Journal of Hydrometeorology*, Vol. 17 (4): 1101-1117.
- Rusli, S.R., 2017. Evaluasi Penggunaan Data Hujan Berbasis Satelit (TRMM) Tidak Terkoreksi. *Jurnal Teknik Sumber Daya Air*, Vol. 3(2): 115-120.
- Tan, M.L. dan Duan, Z., 2017. Assessment of GPM and TRMM precipitation products over Singapore. *Remote Sensing*, Vol. 9(7): 720.