

# PEMANFAATAN DEM-SRTM DAN DEM-NAS SEBAGAI DASAR SIMULASI HUJAN-DEBIT DI DAS KALIWADAS

## *THE USE OF DEM-NAS AND SRTM-DEM AS THE BASIS OF RAINFULL-RUNOFF SIMULATION IN KALIWADAS WATERSHED*

<sup>1</sup>Sukandi Samatan, <sup>2</sup>Heri Suprpto

<sup>1</sup>Program Magister Teknik Sipil, Universitas Gunadarma, <sup>2</sup>Jurusan Teknik Sipil, Universitas Gunadarma

<sup>1</sup>kandi250576@gmail.com, <sup>2</sup>hsuprpto@staff.gunadarma.ac.id

### Abstrak

Akurasi perkiraan debit pada suatu Daerah Aliran Sungai (DAS) untuk pengembangan sumber daya air sangat tergantung pada berbagai faktor seperti model transformasi yang digunakan, ketersediaan dan ketelitian data hidrologi dan karakteristik DAS seperti topografi, jaringan sungai, tutupan lahan dan tekstur tanah. Karakteristik DAS dianggap penentu yang paling dominan dalam berbagai analisis hidrologi terutama berkaitan dengan data yang digunakan untuk menyusun model DAS dalam hal ini data Digital Elevation Model (DEM). Penelitian ini bertujuan untuk menyusun model DAS berdasarkan data DEM Nasional (DEMNAS) untuk memperkirakan debit harian menggunakan Model HEC-HMS dan debit rancangan menggunakan Metode Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) Nakayasu. Penelitian dilakukan di DAS Kaliwadas yang terletak di Kecamatan Kandang Serang Kabupaten Pekalongan Provinsi Jawa Tengah. Sungai Kaliwadas merupakan salah satu sub DAS dengan luas daerah pengaliran kurang lebih 165.78 km<sup>2</sup> mempunyai potensi yang cukup baik untuk penyediaan energi listrik berbasis tenaga air. Kinerja model DAS yang dibentuk dengan data DEMNAS dibandingkan dengan kinerja model DAS yang dibentuk dengan data DEM Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), dimana kedua data DEM ini mempunyai resolusi masing-masing sebesar 8 meter dan 90 meter. Pengujian kinerja didasarkan pada angka Root Mean Square Error (RMSE) dari kedua debit prediksi dari Model HEC-HMS terhadap debit observasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perkiraan debit Model HEC-HMS menggunakan Model DAS DEMNAS menunjukkan kinerja sedikit lebih baik dari kinerja dibandingkan dengan menggunakan Model DAS SRTM, dengan selisih RMSE sebesar 0.27.

**Kata kunci:** DEM-SRTM, DEM-NAS, model hidrologi, model DAS.

### Abstract

The accuracy of flow prediction in a watershed for water resource development is highly dependent on various factors such as the transformation model used, the availability and accuracy of hydrological data and watershed characteristics such as topography, drainage networks, land cover and soil texture. Watershed characteristics are considered as the most dominant determinants in various hydrological analyzes, especially with regard to the data used to compile the watershed model, in this case the Digital Elevation Model (DEM) data. This study aims to develop a watershed model based on National DEM (DEMNAS) data to estimate daily discharge using the HEC-HMS model and design discharge using the Nakayasu Synthetic Unit Hydrograph (SUH) method. The research was conducted in the Kaliwadas watershed, which is located in Kandang Serang District, Pekalongan Regency, Central Java Province. Kaliwadas River is one of the sub-watersheds with a drainage area of approximately 165.78 km<sup>2</sup> which has a good enough potential to supply hydro-based electricity. The performance of the DAS model formed with DEMNAS data is compared with the performance of the watershed model formed with the DEM Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) data, where these two DEM data have

a resolution of 8 meters and 90 meters, respectively. Performance testing is based on the Root Mean Square Error (RMSE) number of the two predictive flow from the HEC-HMS Model to the observed discharge. The results showed that the estimated discharge of the HEC-HMS Model using the DEMNAS Watershed Model showed slightly better performance than using the SRTM DAS Model, with a RMSE difference of 0.27.

**Keywords:** DEM-SRTM, DEM-NAS, hydrological model, watershed model.

## PENDAHULUAN

Pemodelan hujan-aliran memegang peran penting dalam manajemen daerah aliran sungai (DAS). Analisis ini berperan untuk menetapkan berbagai besaran debit baik aliran rendah (*low flow*) maupun aliran puncak (*peak flow*) (Harto, 2000 dan Samatan, 2020). Aliran rendah berasosiasi dengan ketersediaan air (*water supply*) yang berkaitan dengan penyediaan energi (*hydro power*), penyediaan air bersih dan irigasi. Aliran puncak berkaitan dengan banjir yang berasosiasi dengan mitigasi banjir baik secara struktur maupun non-struktur seperti bangunan-bangunan dan saluran pengendali banjir dan manajemen DAS (Halwatura and Najim, 2013).

Akurasi perkiraan debit pada suatu DAS sangat tergantung pada berbagai faktor seperti model transformasi yang digunakan (Mangan *et al.*, 2019; Mather and Tso, 2016), ketersediaan dan ketelitian data hidrologi dan karakteristik DAS seperti topografi, jaringan sungai, tutupan lahan dan tekstur tanah. Faktor yang terakhir yakni karakteristik DAS dianggap penentu yang paling dominan dalam berbagai analisis hidrologi (Harto, 2000), karena menyangkut media transformasi hujan menjadi aliran yang meliputi aliran permukaan (*surface run-off*), aliran antara (*interflow*) dan aliran dasar (*base flow*).

Secara umum karakteristik DAS yang sangat kompleks dapat dinyatakan dengan sebuah model DAS yang mewakili berbagai elemen dalam pemodelan hidrologi (Hassan *et al.*, 2017; Salami *et al.*, 2017). Sebuah model DAS dapat dibentuk menggunakan cara dan sumber sederhana tetapi berdampak pada ketelitian analisis seperti parameter

morfometri (Ahmed *et al.*, 2010). Sampai saat ini perkembangan teknologi sistem informasi geografis dan pencitraan melalui satelit telah memberi peluang pemodelan DAS dengan ketelitian yang lebih baik. Namun demikian penggunaan resolusi DEM yang terbatas juga sangat mempengaruhi ketelitian analisis (Konadu *et al.*, 2009; Li, 2014). Salah satu sumber DEM dengan resolusi terbaik di Indonesia adalah DEM Nasional (DEMNAS) yang dikembangkan oleh Badan Informasi Geospasial (BIG) Indonesia selain DEM SRTM. Sejalan dengan hal tersebut, penelitian ini bermaksud mengkonstruksi DAS menggunakan data spasial dengan analisis sistem informasi geografis (GIS) dalam rangka untuk pengembangan PLTM Kaliwadas di Kabupaten Pekalongan Provinsi Jawa Tengah guna mendukung penyediaan energi listrik di Indonesia serta dalam usaha mengurangi ketergantungan pada bahan bakar minyak. Data yang digunakan untuk penyusunan model sungai adalah data DEM Nasional (DEMNAS) beresolusi 8 meter. Penggunaan kedua data tersebut dimaksudkan untuk membandingkan model DAS yang dibentuk dan kaitannya dengan akurasi perkiraan debit banjir meliputi debit rendah (*low flow*) maupun debit puncak (*peak flow*). Selanjutnya perkiraan debit banjir dilakukan dengan menggunakan Model HEC-HMS, salah satu model hidrologi yang dapat diaplikasikan menggunakan model DAS berbasis spasial. Input kedua model DAS tersebut pada Model HEC-HMS menggunakan data hujan dan tutupan lahan yang sama. Penelitian dan publikasi tentang penggunaan DEMNAS belum begitu banyak dilakukan. Beberapa publikasi terkait adalah seperti yang dilakukan oleh Ishak *et al.* (2021) tentang

penggunaan DEMNAS sebagai model geometri untuk simulasi hidrodinamik di Muara Sungai Palu. Hasil kajian menunjukkan bahwa data DEMNAS masih belum memadai untuk membangun model geometri untuk kasus di daerah tersebut. Hal ini tidak hanya terkait dengan resolusi DEMNAS, terutama resolusi vertikal, tetapi juga terkait dengan kemiringan topografi yang sangat rendah di muara sungai. Namun, penggunaan data ini di area dengan kemiringan yang lebih tinggi dapat dievaluasi kembali. Pada kasus berbeda, Shodiq dkk. (2022) menganalisis analisis aspek geometrik genangan banjir menggunakan data DEMNAS. Berdasarkan hasil analisis diketahui bahwa data DEMNAS dapat digunakan sebagai data pendekatan untuk pemodelan genangan banjir. Ancaman terjadinya genangan banjir masih ada dikarenakan curah hujan yang tertinggi bukan saat kejadian genangan banjir di awal tahun 2021. Sehingga rekomendasi mitigasi bagi pemangku kepentingan berupa pembuatan saluran irigasi yang terintegrasi dengan sungai, mempersiapkan retensi air, mempersiapkan lokasi pengungsian dan jalur evakuasi. Selanjutnya Putra *et al.* (2022) melakukan kajian tentang pemodelan aliran debris berdasarkan DEMNAS menggunakan Flow-R di Kabupaten Sigi Provinsi Sulawesi Tengah. Hasil penelitian menunjukkan penggunaan DEMNAS memberikan kinerja baik terhadap pemodelan aliran debris. Serangkaian kajian tersebut mengindikasikan bahwa data DEMNAS pada beberapa kasus menunjukkan akurasi yang sangat baik terhadap hasil pemodelan terutama banjir dan aliran debris. Namun pada kasus yang lain data DEMNAS belum memberikan hasil memuaskan terhadap simulasi arus di muara sungai. Kajian ini akan sangat menarik karena diaplikasikan pada skala daerah aliran sungai (DAS) dengan membandingkan kinerjanya terhadap data SRTM, dengan tujuan (1) Mendapatkan

karakteristik model DAS yang dibentuk menggunakan DEM Nasional (DEMNAS), meliputi karakteristik jaringan sungai, kemiringan lereng dan luas DAS, dan (2) Mengetahui kinerja model transformasi hujan-aliran (HEC-HMS) berdasarkan data DEMNAS yang digunakan baik terhadap aliran rendah maupun aliran puncak diukur dengan Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE).

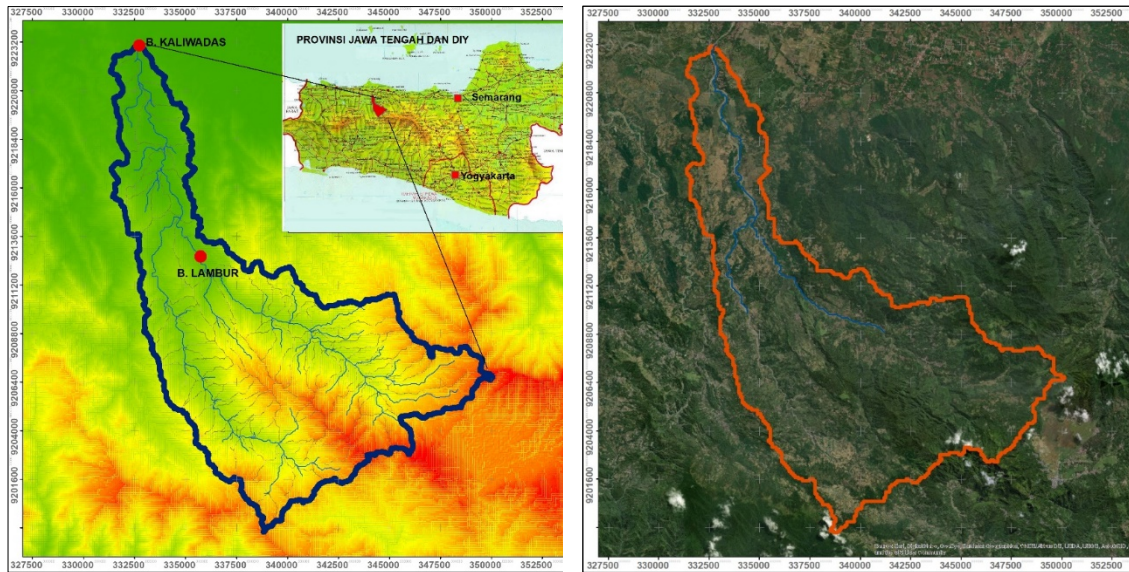
## METODOLOGI PENELITIAN

### 1. Lokasi Penelitian

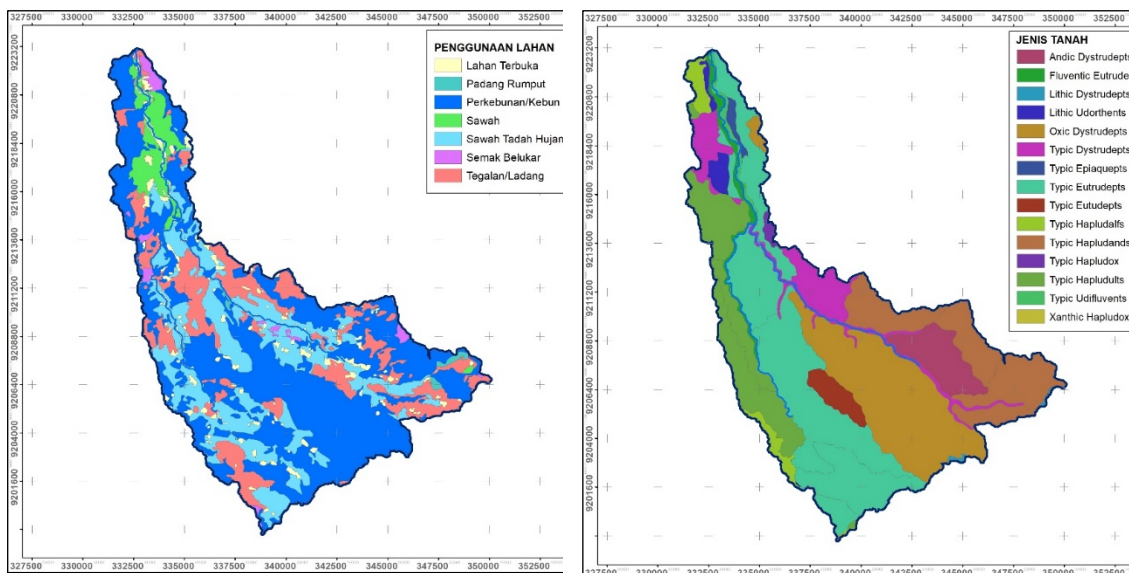
Penelitian ini dilaksanakan di DAS Kaliwadas (Gambar 1), yang terletak di Kecamatan Kandang Serang Kabupaten Pekalongan Provinsi Jawa Tengah. Sungai Kaliwadas merupakan salah sub DAS dengan luas daerah pengaliran kurang lebih 165.78 km<sup>2</sup> yang diukur pada pos hidrometri (AWLR) terdapat pada Bendung Kaliwadas. Pada sungai ini juga terdapat Bendung Lambur yang terletak di sebelah hulu Bendung Kaliwadas. Saat ini Bendung Kaliwadas berfungsi untuk penyediaan air irigasi sedangkan Bendung Lambur untuk pemenuhan energi listrik. Kedua bendung terletak pada sungai kontinyu dengan debit tersedia sepanjang tahun baik pada musim hujan dan musim kemarau.

### 2. Bahan Penelitian

Bahan penelitian yang digunakan pada penelitian meliputi peta DEM dalam hal ini DEM Nasional dan DEM SRTM, data tutupan lahan, jenis tanah, data hujan harian, dan data debit harian. Peta tutupan lahan dan jenis tanah (Gambar 2) bisa diperoleh dari BAPPEDA Kabupaten Pekalongan sedangkan data hujan dan debit bisa didapatkan dari Balai Wilayah Sungai (BWS) Pemali-Juana di Jawa Tengah. Data lainnya adalah data pengukuran langsung debit yang akan dilakukan pada Pos AWLR Kaliwadas untuk menguji validitas dan konsistensi AWLR Bendung Kaliwadas.



**Gambar 1. Lokasi Penelitian di DAS Kaliwadas**



**Gambar 2. Tata Tutupan Lahan dan Jenis Tanah DAS Kaliwadas**

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah seperangkat alat ukur hidrologi dan hidrometri yang dipasang di DAS Kaliwadas oleh BWS Pemali-Juana.

Alat ini berfungsi untuk mengukur curah hujan dan tinggi muka air jam-jaman dan harian. Peralatan lainnya yang digunakan adalah Current Meter untuk mengukur kecepatan aliran (validasi), Theodolit, GPS dan beberapa peralatan ukur lainnya.

### 3. Tahapan Penelitian

Penelitian ini dikelompokkan menjadi 3 (tiga) tahap, yaitu: (1) Studi pendahuluan dan pengumpulan data baik data primer maupun dan sekunder. Studi pendahuluan dilakukan untuk mengidentifikasi kajian-kajian yang pernah dilakukan di lokasi penelitian sehingga bisa dijadikan sebagai referensi. Bersamaan dengan kajian pendahuluan, dapat juga dilakukan pengumpulan data dimana jenis dan macamnya sebagaimana telah disebutkan pada

Bahan dan Peralatan Penelitian, (2) Penyusunan model DAS. Pada tahap ini model DAS dibentuk dari DEM Nasional (DEMNAS) beresolusi 8 meter dan dibandingkan dengan Model DAS yang disusun dari DEM SRTM 90 meter. Penyusunan model DAS ini dilakukan menggunakan ArcGIS 10.4 (Gambar 3.5) dengan *Hydrology Tool*, salah satu bagian dari *Spatial Analyst Tool* pada *Arc Toolbox*, (3) Simulasi Model HEC-HMS berdasarkan kedua model DAS tersebut menggunakan input data hujan yang sama. Pada tahap ini dilakukan optimasi/kalibrasi untuk menetapkan model DAS terbaik berdasarkan kesesuaian debit prediksi dengan debit pengamatan menggunakan *Root Mean Square Error (RMSE)*, (Nash dan Sutcliffe, 1970 dalam Cheng et al., 2013; ) dengan formula:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obs_i} - Q_{sim})^2}{N}} \quad (1)$$

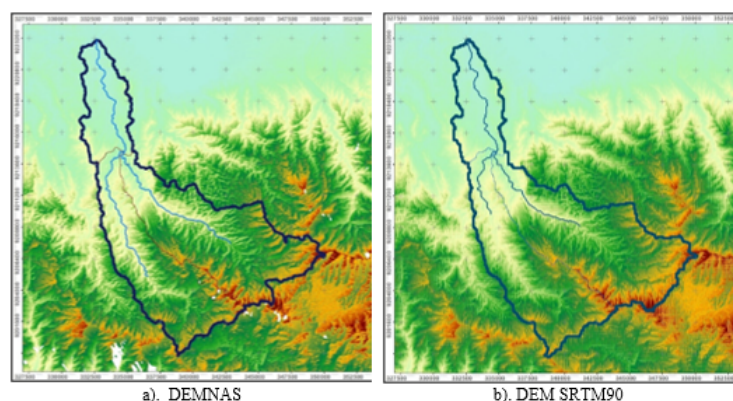
Nilai-nilai indikator kesalahan  $\geq 0$  Semakin rendah tinggi indikator kesalahan, maka model yang dihasilkan memiliki kinerja yang buruk dan sebaliknya apabila nilai indikator kesalahan semakin rendah mendekati 0 maka kinerja model semakin tinggi, (4) Model DAS

yang menghasilkan kinerja terbaik akan digunakan sebagai dasar simulasi Model HEC-HMS dengan menggunakan parameter optimal untuk memprediksi debit harian.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Karakteristik DAS

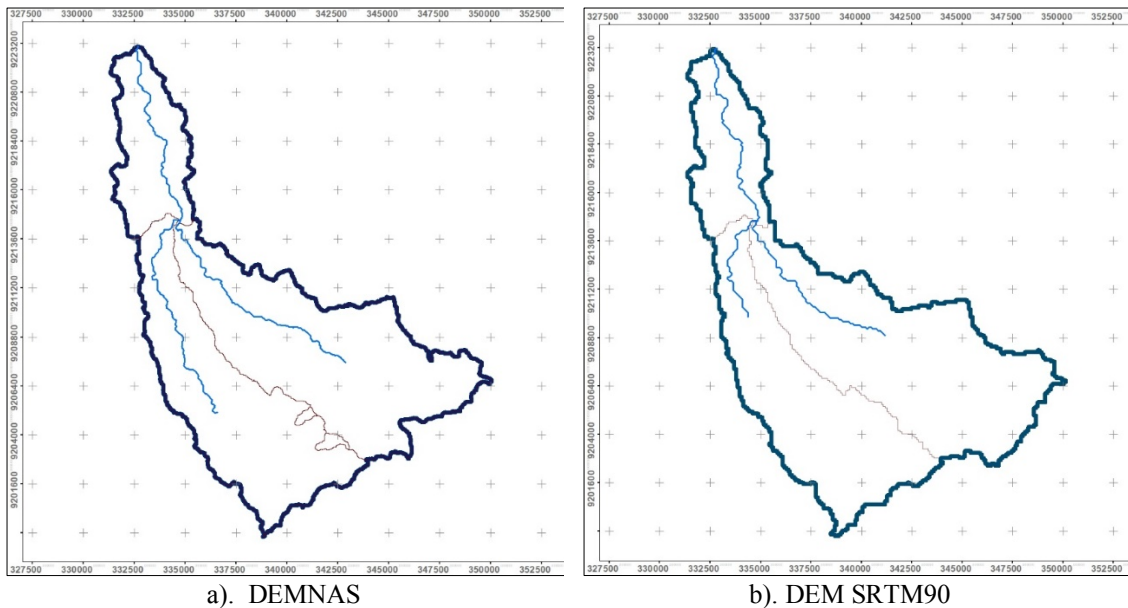
Delineasi DAS Kaliwadas diterapkan berdasarkan dua jenis data DEM yakni DEM Nasional (DEMNAS) beresolusi horisontal sekitar 8.33 meter dan DEM *Shuttle Radar Topography Mission* (DEM SRTM) beresolusi 90 meter. Penekanan utama analisis ini adalah pada pemanfaatan DEMNAS sebagai data dasar untuk menyusun model DAS. Asumsi yang digunakan untuk melakukan analisis ini adalah bahwa semakin tinggi resolusi DEM yang digunakan, maka karakteristik DAS yang dihasilkan akan semakin akurat, dan akan semakin mirip dengan karakteristik DAS yang sesungguhnya. Untuk membuktikan asumsi ini, maka perlu dilakukan perbandingan menggunakan DEM beresolusi lebih rendah yaitu DEM SRTM90. Delineasi DAS terhadap kedua data DEM tersebut dilakukan menggunakan *Hydrology Tool* komponen dari *Spatial Analyst Tool* pada *Arc Toolbox* ArcGIS. Hasil delineasi DAS menggunakan tool tersebut ditampilkan pada Gambar 3 dengan jaringan sungai pada Gambar 4, dan secara kuantitatif ditampilkan pada Tabel 1.



**Gambar 3. Batas DAS Kaliwadas Hasil Delineasi dari (A) DEMNAS dan (B) DEM SRTM90**

**Tabel 1. Perbandingan Hasil Delineasi DAS dari DEMNAS dan DEM SRTM90**

No	Parameter	DEMNAS	DEM SRTM90
1	Luas DAS (km <sup>2</sup> )	161.22	166.68
2	Panjang sungai utama (km)	24.36	21.51
3	Panjang sungai total (km)	37.69	27.96
4	Kemiringan sungai utama	0.020525	0.019572
5	Keliling DAS (km)	109.01	98.49
6	Bentuk DAS	Melebar ke arah hulu	Melebar ke arah hulu



**Gambar 4. Jaringan Sungai Hasil Derivasi dari (A) DEMNAS dan (B) DEM SRTM90**

Mencermati hasil delineasi DAS seperti pada Tabel 1., terdapat tiga parameter penting yang berbeda dari kedua jenis yakni luas DAS, panjang sungai dan keliling DAS. Luas DAS dari DEMNAS lebih kecil dari luas DAS SRTM90, sedangkan keliling DAS menjadi lebih besar. Hal ini berkaitan dengan kerapatan titik elevasi yang menyebabkan garis batas DAS pada DEMNAS lebih detail.

## 2. Kinerja Transformasi Hujan-Debit

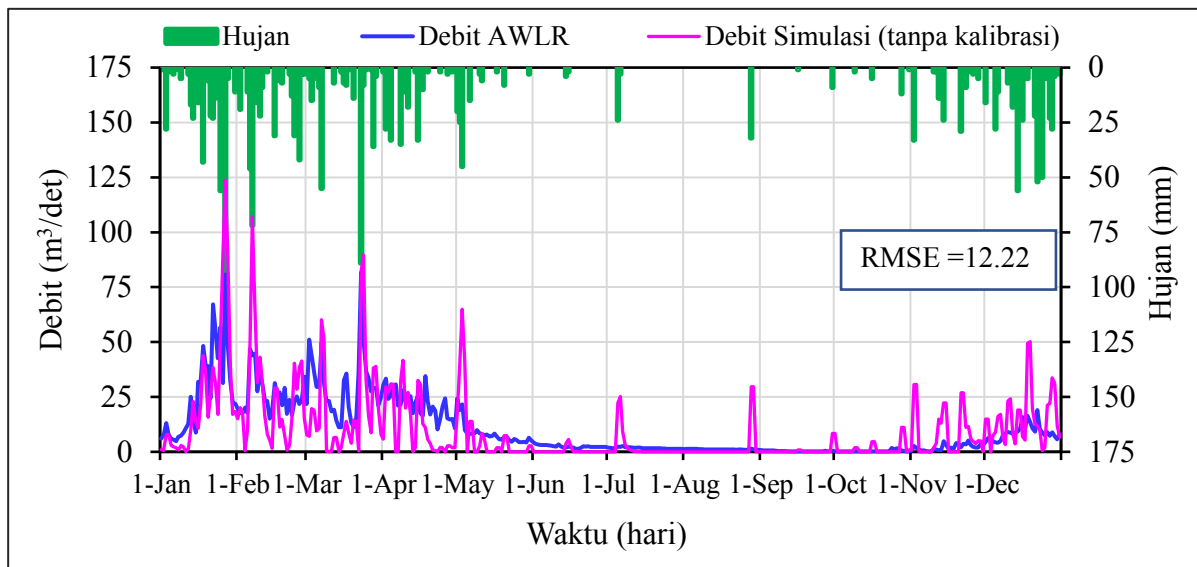
Berdasarkan hasil simulasi dan optimasi HEC-HMS terhadap kedua model DAS tersebut, selanjutnya dapat dibuat perbandingan kinerja model berdasarkan kriteria *Root Mean Square Error* (RMSE). Semakin kecil nilai RMSE dan mendekati 0, maka kinerja model akan semakin bagus. Merujuk pada Gambar 5 dan Gambar 6, terlihat angka RMSE masing-masing hasil

simulasi dan optimasi. Perbedaan angka RMSE dari keempat skenario, relatif sangat kecil dimana untuk DAS DEMNAS bernilai 12.22 dan 11.17 kondisi sebelum dan sesudah kalibrasi. Terjadi peningkatan kinerja sebesar 8.62% setelah dilakukan optimasi parameter yang sejalan dengan penelitian Reshma *et al.* (2013) dan Romali *et al.* (2017).

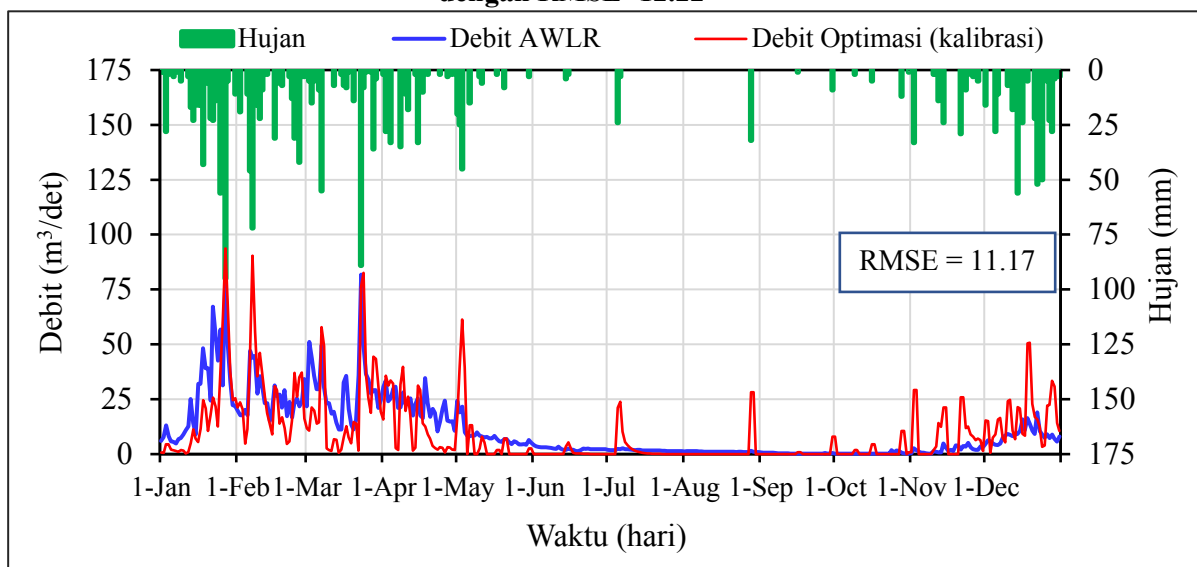
Untuk DAS SRTM, angka RMSE kedua kondisi sebelum dan sesudah kalibrasi berturut-turut sebesar 12.59 dan 11.44. Pada skenario ini kinerja model meningkat 9.14%. Apabila dicermati lebih detail, kinerja Model HEC-HMS dari Model DAS DEMNAS sedikit lebih baik dari kinerja Model DAS SRTM baik pada kondisi sebelum maupun sesudah kalibrasi. Pada skenario kalibrasi angka RMSE Model DAS DEMNAS lebih rendah dari Model DAS SRTM dengan selisih 0.27, relatif sangat kecil. Namun demikian secara logika

DEM dengan resolusi lebih tinggi akan memberikan hasil simulasi yang lebih baik telah terkonfirmasi pada analisis ini walaupun dengan indikator yang sangat kecil. Kecilnya indikasi kebaikan ini sangat berkaitan dengan berbagai faktor terutama kevalidan dan

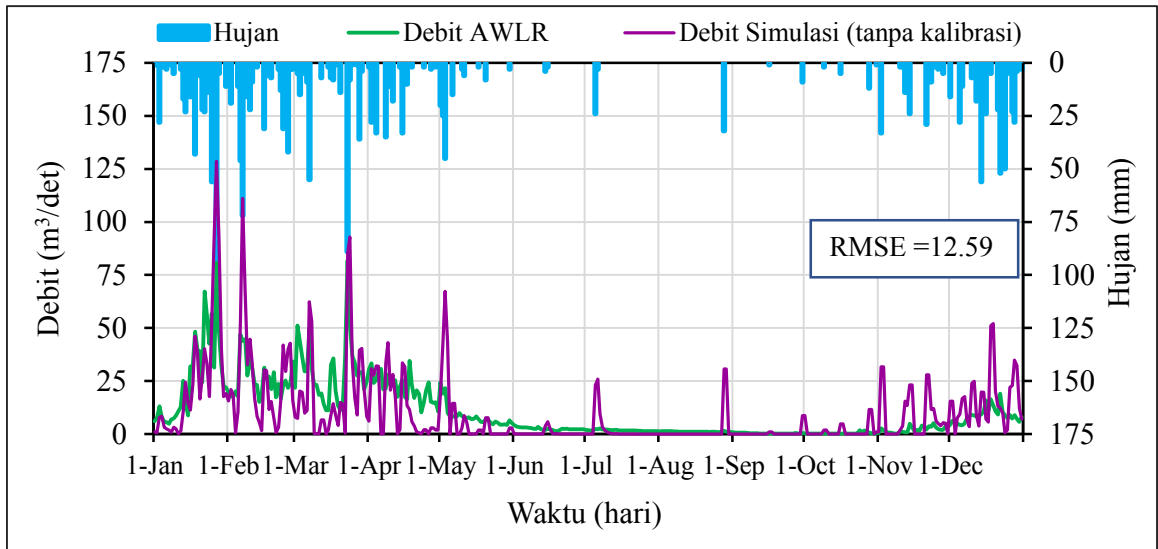
keabsahan data hidrologi. Oleh karena ini untuk mendapatkan ilustrasi yang lebih memuaskan, metode yang sama dapat diterapkan pada DAS lain yang mempunyai data valid dan lengkap (Himanshu *et al.*, 2013).



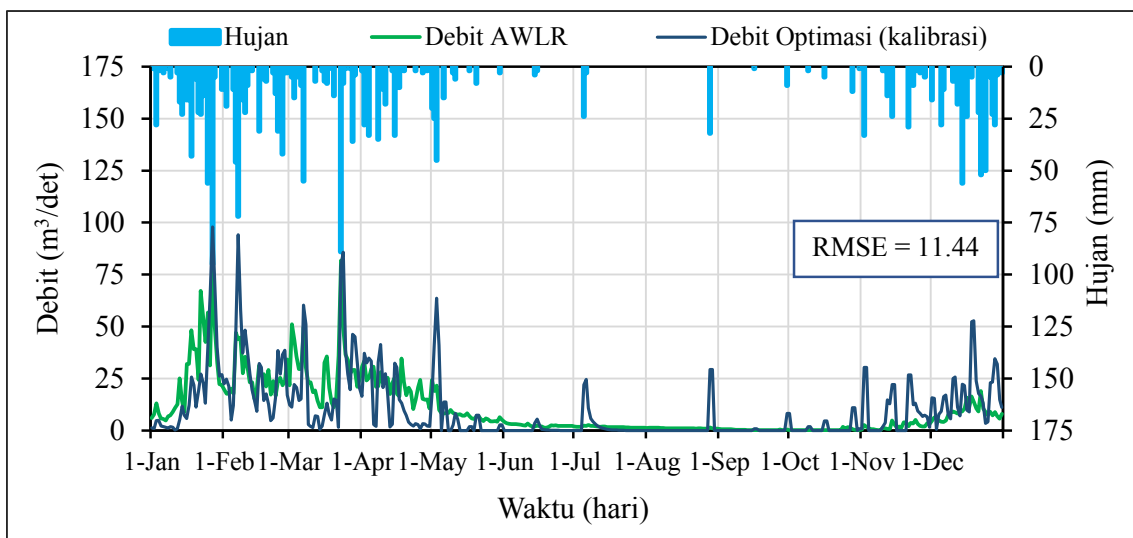
**Gambar 5. Perbandingan Debit Simulasi dengan Debit AWLR Untuk DAS DEMNAS dengan RMSE=12.22**



**Gambar 6. Perbandingan Debit Optimasi dengan Debit AWLR Untuk DAS DEMNAS dengan RMSE=11.17**



**Gambar 7. Perbandingan Debit Simulasi dengan Debit AWLR Untuk DAS SRTM dengan RMSE=12.59**



**Gambar 8. Perbandingan Debit Optimasi dengan Debit AWLR Untuk DAS SRTM dengan RMSE=11.44**

**Tabel 2. Parameter Optimasi Model HEC-HMS**

No	Parameter Model HEC-HMS	DAS DEMNAS		DAS SRTM		Batasan
		Awal	Optimal	Awal	Optimal	
1	<i>Time of Concentration</i> (hour)	3.46	3.3238	3.20	3.6776	0.02-1000
2	<i>Storage Coefficient</i> (hour)	3	3.1858	3	3.5909	0.0167-1000
3	<i>Initial Dischare</i> (m <sup>3</sup> /s)	1	0.7214	1	1.2969	1-100000
4	<i>Ratio to Peak</i>	0.5	0.5339	0.5	0.4998	0-1
5	<i>Recession Constant</i>	0.5	0.72	0.5	0.72	0.01-1
6	<i>Curve Number</i>	69.2	35.071	70.5	35.357	35-99
7	<i>Initial Abstraction</i> (mm)	2	1.664	2	2.075	0.001-500



**Tabel 3. Rekapitulasi Debit Bulanan Rata-Rata Hasil Simulasi HEC-HMS**

Tahun	Bulan											
	Jan	Peb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nop	Des
2010	8.2	27.5	31.6	17.3	20.3	16.0	4.5	2.5	2.5	1.1	9.9	11.4
2011	24.0	34.7	32.5	31.3	31.9	32.0	15.2	15.5	23.1	14.7	18.2	24.9
2012	14.2	46.9	25.8	15.8	13.9	4.0	10.2	10.4	5.8	6.8	11.7	33.7
2013	40.6	31.9	29.5	14.5	14.7	6.0	3.1	1.7	0.9	1.6	10.0	26.4
2014	84.3	68.6	53.9	37.7	23.1	16.1	23.8	18.0	12.3	20.2	27.2	31.0
2015	63.2	110.7	49.9	35.2	25.1	20.8	33.0	20.0	8.3	6.5	6.9	35.1
2016	71.2	45.9	50.8	27.1	11.1	5.5	3.0	1.6	0.9	14.1	36.9	26.8
2017	51.0	50.8	36.0	21.8	17.4	24.1	15.5	44.9	39.1	44.8	46.9	60.4
2018	56.2	41.4	35.6	27.6	31.3	16.3	6.6	12.5	24.6	34.1	36.3	27.3
2019	76.8	47.6	26.4	19.5	11.0	3.5	1.9	1.9	1.8	35.3	38.5	30.2

Pada tahap selanjutnya, berdasarkan parameter optimal dari Model DAS DEMNAS, simulasi hujan-aliran akan diterapkan pada data Tahun 2010-2018. Parameter-parameter optimal dari Model HMS untuk DAS DEMNAS disajikan Pada Tabel 2.

### 3. Perkiraan Debit

Berdasarkan Model DAS DEMNAS maka selanjutnya pada Model HEC-HMS dapat diinput data hujan harian Periode 2010-2019. Tabel 3 menyajikan rekapitulasi debit rata-rata bulanan Sungai Kaliwadas, hasil Simulasi HEC-HMS Periode 2010-2019.

### SIMPULAN

Berdasarkan perhitungan dan kajian yang telah dilakukan pada analisis dan pembahasan, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai afirmasi atas tujuan penelitian seperti berikut ini:

1) Secara umum DAS Kaliwadas mempunyai bentuk memanjang dan melebar ke arah hulu. Model DAS yang diturunkan dari data DEMNAS menampilkan jaringan sungai dengan kerapatan rendah berbentuk menjari. Bila dibandingkan dengan model DAS dari data SRTM, pada studi ini model DAS DEMNAS menunjukkan luasan lebih rendah dan kemiringan dasar sungai lebih terjal.

2) Transformasi hujan-aliran Model HEC-HMS menggunakan Model DAS DEMNAS menunjukkan kinerja sedikit lebih baik dari kinerja dibandingkan dengan menggunakan Model DAS SRTM, dengan selisih *Root Mean Square Error* (RMSE) sebesar 0.27.

3) Debit puncak banjir untuk kala ulang 20 tahun dan 50 tahun, maka debit puncak banjir mencapai 412.83 m<sup>3</sup>/det dan 455.24 m<sup>3</sup>/det.

### DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, S.A., Chandrashekarappa, K.N., Raj, S.K., Nischitha, V., and Kavitha, G., (2010). Evaluation of Morphometric Parameters Derived from ASTER and SRTM DEM – A study on Bandihole Sub-watershed Basin in Karnataka. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, Vol. 38, pp. 227-238.
- Cheng, C., Cheng, S., Wen, J., and Lee, J. (2013). Time and Flow Characteristics of Component Hydrographs Related to Rainfall–Streamflow Observations. *Journal of Hydrologic Engineering*, Vol. 18, No. 6, pp. 675-688.
- Halwatura D. and Najim M.M.M. (2013). Application of The HEC-HMS Model for Runoff Simulation in a Tropical Catchment. *Environmental Modelling & Software*, Vol. 46, pp. 155-162.

- Harto, S. (2000). Hidrologi : Teori, Masalah dan Penyelesaian. Nafiri Offset, Yogyakarta.
- Hassan, A.K.M.B., Heather M., Jarrett P., and Amine M. (2017). Application of HEC-HMS in a Cold Region Watershed and Use of RADARSAT-2 Soil Moisture in Initializing the Model. *Hydrology*, Vol. 4, No. 9, pp. 1-19.
- Himanshu, S.K., Garg, N., Rautela, S., Anuja, K.M., and Tiwari, M. (2013). Remote Sensing and GIS Applications in Determination of Geomorphological Parameters and Design Flood for a Himalyan River Basin, India. *International Research Journal of Earth Sciences*, Vol. 1, No. 3, pp. 11-15.
- Konadu, D.D. and Fosu, C. (2009). Digital Elevation Models and GIS for Watershed Modelling and Flood Prediction – A Case Study of Accra Ghana. *Appropriate Technologies for Environmental Protection in the Developing World*, pp. 325-332.
- Li, Z. (2014). Watershed Modeling Using Arc Hydro Based on DEMs: A Case Study in Jackpine Watershed. *Environmental Systems Research*, Vol. 3, pp. 1-12.
- Mangan, P., Haq, MA., and Baral, P. (2019). Morphometric Analysis of Watershed Using Remote Sensing and GIS-A Case Study of Nanganji River Basin in Tamil Nadu, India. *Arabian Journal of Geosciences*, Vol. 12, No. 202, pp. 1-14.
- Mather, M. and Tso, B. (2016). Classification Methods for Remotely Sensed Data, CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.
- Reshma T., Venkata R.K., and Deva P. (2013). Simulation of Event Based Runoff Using HEC-HMS Model for an Experimental Watershed. *International Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 2, No. 2, pp. 28-33.
- Romali, N.S., Yusop, S., and Ismail, A.Z. (2017). Hydrological Modelling Using HEC-HMS for Flood Risk Assessment of Segamat Town, Malaysia. *Materials Science and Engineering*, Vol. 318, pp. 1-6.
- Salami, A.W., Bilewu, S.O., Ibitoye, A.B., and Ayanshola A.M. (2017). Runoff Hydrographs Using Snyder And SCS Synthetic Unit Hydrograph Methods: a Case Study of Selected Rivers in South West Nigeria. *Journal of Ecological Engineering*, Vol 18, No. 1, pp. 25-34.
- Samatan, S. (2020). Perbandingan Perkiraan Debit Banjir Rancangan Menggunakan Data Hujan dan Debit di DAS Kaliwadas Kab. Pekalongan, Jawa Tengah. *Rekonstruksi Tadulako: Civil Engineering Journal on Research and Development*. Vol. 1, No. 2, pp. 1-8.
- Ishak, M.G., Tunas, I.G., Herman, R. Setiyawan, and Arafat, Y. (2021). Flow Simulation using 2D Hydrodynamic Model at the Palu Estuary Based on National DEM Source Data. *International Journal of Design & Nature and Ecodynamics*, Vol. 16, No. 6, pp. 709-715.
- Shodiq, A.M., Sobatnu, F., dan Inayah N. (2022). Analisis Aspek Geometrik Genangan Banjir Menggunakan Data DEMNAS. *Jurnal INTEKNA : Informasi Teknik Dan Niaga*, Vol. 22, No. 1, pp. 51–59
- Putra, M.H.Z., Dinata, I.A., Sadisun, I.A., Sarah, D., Aulia, A.N., and Sukristiyanti. (2022). Modeling of Individual Debris Flows Based on DEMNAS Using Flow-R: A Case Study in Sigi, Central Sulawesi. *Riset Geologi dan Pertambangan: Indonesian Journal of Geology and Mining*, Vol. 32, No. 1 pp. 37-58.