

PREDIKSI DEBIT SUNGAI BENGAWAN SOLO MENGGUNAKAN *NUMERICAL WEATHER MODEL GLOBAL FORECAST SYSTEM* DAN *INTEGRATED FLOOD ANALYSIS SYSTEM*
(*Prediction of discharge in Bengawan Solo River using numerical weather model global forecast system and integrated flood analysis system*)

Deffi M Putri¹ dan Aries Kristianto²

¹Stasiun Meteorologi Iskandar Kotawaringin Barat

Jl. Iskandar, Bandar Udara Iskandar Kotawaringin Barat, Kalimantan Tengah, 74112

²Program Studi Meteorologi, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika

Jl. Perhubungan I No. 5, Pondok Betung, Tangerang Selatan, Banten, 15221

Email: deffi.munadiyat.putri@gmail.com

Diterima: 13 September 2020; Direvisi: 21 Desember 2020; Disetujui: 24 Desember 2020

ABSTRACT

Flood is one of the most common hydro-meteorological disasters. Bengawan Solo is one of the watersheds in Indonesia that also hit by this disaster. This study discusses the flood disaster in the Bengawan Solo area in early March 2019. The purpose of this study is to conduct a discharge simulation using numerical weather model Global Forecast System (GFS) data through Integrated Flood Analysis System (IFAS) so it is possible to predict discharge in the future. There are three types of numerical weather model GFS data that have been downscale using weather research and forecasting model which differentiated based on spin-up time. The numerical weather model product is then used as rainfall data input for IFAS simulation. Based on the analysis, the flood discharge simulation using an 84-hour spin-up time has a satisfactory performance in describing the change in discharge with respect to time. This happens because numerical weather models will be better at quantifying processes that occur on a meso scale with spatial scale of 10 to 1000 km. The result of this research shows that it is possible to predict river discharge up to 84 hours before the disaster so this is can support the mitigation process for hydrometeorological disasters.

Keyword: *Global Forecast System; Flood Analysis System; spin-up*

ABSTRAK

Banjir merupakan salah satu bencana hidrometeorologi yang sering terjadi. Bengawan Solo adalah salah satu DAS di Indonesia yang juga dilanda bencana ini. Kajian ini mendiskusikan bencana banjir di kawasan Sungai Bengawan Solo pada awal Maret 2019. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melakukan simulasi debit dengan menggunakan model cuaca numerik *Global Forecast System* (GFS) melalui *Integrated Flood Analysis System* (IFAS) sehingga dimungkinkan untuk adanya kegiatan prediksi debit yang lebih akurat, cepat dan tepat pada periode waktu tertentu. Terdapat tiga jenis model cuaca numerik GFS yang telah

didownscale menggunakan model *Weather Research and Forecasting* (WRF) yang dibedakan berdasarkan waktu *spin-up*. Produk model cuaca numerik tersebut kemudian dijadikan data masukan hujan untuk simulasi IFAS. Berdasarkan analisis diketahui bahwa simulasi debit banjir menggunakan waktu *spin-up* 84 jam memiliki performa memuaskan dalam menggambarkan perubahan debit terhadap waktu. Hal ini terjadi karena model cuaca numerik akan semakin baik dalam mengkuantifikasi proses yang terjadi dalam skala meso dengan resolusi spasial 10 hingga 1000 km. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa memungkinkan untuk melakukan prediksi debit sungai hingga 84 jam sebelum bencana sehingga hal ini sangat mendukung dalam proses mitigasi bencana hidrometeorologi.

Kata kunci: *Global Forecast System; Flood Analysis System; spin-up*

I. PENDAHULUAN

Banjir merupakan bencana alam yang paling sering terjadi dan tersebar di dunia selama beberapa dekade belakangan (Han & Coulibaly, 2017). Salah satu faktor penyebab banjir dari segi meteorologi yaitu curah hujan yang tinggi (Soebroto, Cholissodin, Wihandika, Frestantiya, & Arief, 2015). Akurasi prediksi banjir merupakan hal yang penting untuk mengurangi risiko banjir (Le, Ho, Lee & Jung, 2019). Kurangnya data hidrologi dan informasi di wilayah tangkapan merupakan tantangan yang besar untuk sistem peringatan dini banjir khususnya di negara berkembang. *Integrated Flood Analysis System* (IFAS) dikembangkan untuk memprakirakan banjir (Chow & Jamil, 2017). Astuti dan Lasminto (2014) melakukan penelitian debit di DAS Bengawan Solo menggunakan IFAS yang mendapatkan hasil bahwa IFAS mampu memodelkan debit dengan baik setelah adanya modifikasi parameter. Simulasi banjir dengan menggunakan data analisis satelit dan model cuaca numerik di DAS Bengawan Solo menunjukkan bahwa model cuaca numerik mampu merepresentasikan debit dengan baik (Kristianto & Putri, 2020). Aplikasi IFAS dalam menyimulasikan debit

melalui data curah hujan satelit memiliki hasil berbeda pada setiap penelitiannya berupa *overestimate* (Aziz & Tanaka, 2015) atau *underestimate* (Shahzad, Gabriel, Haider, Mubeen, & Siddiqui, 2018).

Keandalan prakiraan telah meningkat dalam beberapa tahun terakhir karena adanya integrasi kemampuan pemodelan meteorologi dan hidrologi, peningkatan pengumpulan data melalui observasi satelit, dan kemajuan dalam pengetahuan dan algoritma untuk analisis ketidakpastian (Jain *et al.*, 2018). Penelitian ini menggunakan data hujan dari model cuaca numerik *Global Forecasting System* (GFS) sebagai data masukan parameter hujan. *Model Weather Research and Forecasting* (WRF) pernah digunakan untuk menghasilkan prakiraan hujan dengan data GFS di Jakarta yang menunjukkan bahwa WRF cenderung menghasilkan *false alarm* sehingga memperlihatkan prospek yang baik untuk pengembangan sistem prediksi cuaca yang lebih akurat di Indonesia (Gustari, Hadi, Hadi, & Renggono, 2012).

Penelitian terhadap bencana banjir yang terjadi di Bengawan Solo perlu dilakukan sebagai upaya awal dalam proses kajian prediksi banjir yang dapat mendukung kegiatan mitigasi bencana hidrometeorologi. Tujuan dari penelitian ini

yaitu melakukan simulasi debit dengan menggunakan model cuaca numerik yang diharapkan mampu untuk menyediakan kemungkinan dilakukannya prediksi banjir yang lebih akurat, cepat dan tepat pada periode waktu tertentu menggunakan data curah hujan prakiraan GFS yang selanjutnya akan dilakukan analisis *rainfall-runoff* dengan IFAS.

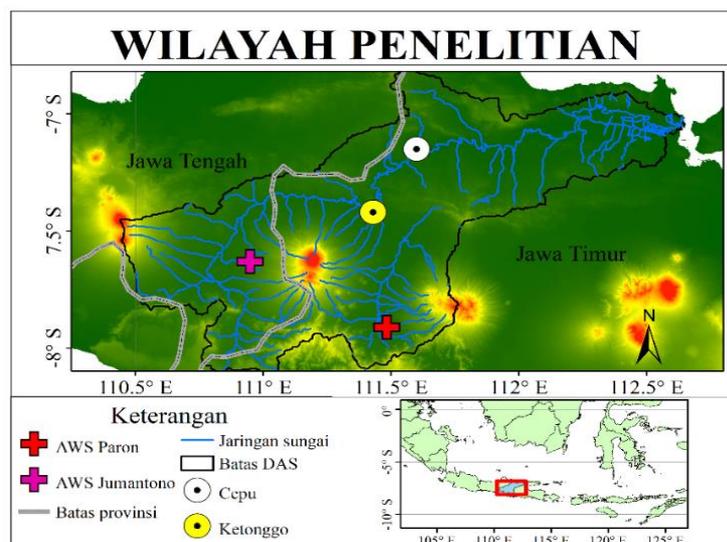
II. BAHAN DAN METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Lokasi

Penelitian ini mengambil kasus pada Tanggal 5, 6 dan 7 Maret 2019 yang berlokasi di DAS Bengawan Solo pada koordinat 110°18' hingga 112°45' bujur timur dan 6°49' sampai 8°08' lintang selatan. Titik pengukuran curah hujan dari *Automatic Weather Station* (AWS) pada AWS Paron dan Jumantono digunakan untuk proses validasi curah hujan prediksi GFS. Dua titik pos tinggi muka air diambil sebagai lokasi yang dianalisis yaitu Pos Ketonggo yang mewakili bagian tengah dan Pos Cepu yang mewakili bagian hilir (Gambar 1).

B. Bahan dan Alat

Alat yang digunakan untuk mendukung pelaksanaan penelitian ini antara lain perangkat keras komputer dan perangkat lunak. Perangkat lunak yaitu, *Quantum GIS* (QGIS) versi 3.12, *Integrated Flood Analysis System* (IFAS) 2.0.1.2, WRF ARW 4.1, GrADS 2.0, dan *Google Earth Pro* 7.3. Penelitian ini menggunakan data antara lain data model cuaca numerik GFS resolusi temporal 6 jam dan spasial $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ oleh *National Centers of Environmental Prediction* (NCEP), data pengukuran curah hujan oleh AWS dengan resolusi temporal 1 jam, data geospasial untuk perhitungan karakteristik DAS yaitu *Digital Elevation Model* (DEM) GTOPO30 resolusi 1 km, tata guna lahan *Global Land Cover Characterization Landuse* (GLCC), data jenis tanah *Digital Soil Map of the World* (DSMW), *basin boundary* yang diakses dari <http://riverbasins.wateractionhub.org/> serta data debit sungai dari Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Bengawan Solo.



Gambar (Figure) 1. Peta wilayah penelitian (Map of the research area)

C. Metode Penelitian

Proses yang dilakukan pada penelitian ini digambarkan melalui Gambar 2. WRF digunakan sebagai perangkat lunak untuk mengolah data GFS menggunakan teknik *multi-nesting* yang *didownscale*. Terdapat tiga jenis pengaturan waktu *spin-up* antara lain *spin-up* 12 jam (GFS 1), 36 jam (GFS 2) dan 84 jam (GFS 3). *Spin-up* merupakan waktu yang dibutuhkan model untuk mencapai kesetimbangan dibawah gaya yang memengaruhinya. Pemberian variasi waktu *spin-up* bertujuan untuk mengetahui pengaruh waktu *spin-up* sehingga dapat diketahui pengaturan waktu terbaik untuk melakukan prediksi. Output ketiga jenis GFS hasil *downscale* dengan *time step* 1 jam yang kemudian diverifikasi terhadap data pengamatan curah hujan permukaan AWS perjam dengan variabel statistik RMSE (*Root Mean Square Error*) (Wilks, 2006).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (y_k - o_k)^2} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

RMSE = *Root Mean Square Error*

y_k = Nilai prakiraan

o_k = Nilai observasi

n = Jumlah data

Produk GFS 1, 2 dan 3 yang telah diverifikasi lalu diolah bersama dengan data geospasial menggunakan perangkat IFAS. Hasil yang didapatkan dari proses pengolahan menggunakan IFAS terbagi kedalam tiga jenis prediksi, antara lain:

1. Prediksi debit pada hari ketika banjir terjadi (GFS 1);
2. Prediksi debit 1 hari sebelum banjir terjadi (GFS 2);
3. Prediksi debit tiga hari sebelum banjir terjadi (GFS 3).

Variasi prediksi debit tersebut bertujuan untuk membandingkan kemampuan dari setiap pengaturan dalam melakukan prediksi. Performa ketiga jenis prediksi debit ini dievaluasi terhadap data debit hasil pengamatan. Pengujian dilakukan menggunakan variabel statistik *Pearson’s correlation coefficient* (r) (Wilks, 2006) dan *Nash-Sutcliffe efficiency* (NSE) (Moriasi, et al., 2007). Nilai r menunjukkan bahwa derajat kolinearitas antara data simulasi dan observasi (Moriasi et al., 2007).

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n x_i) (\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{[\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n x_i)^2]} \sqrt{[\sum_{i=1}^n y_i^2 - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n y_i)^2]}} \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:

r = Koefisien korelasi

x_i = variabel 1

y_i = variabel 2

n = Jumlah data

$$NSE = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{sim})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y^{mean})^2} \right] \dots(3)$$

Keterangan:

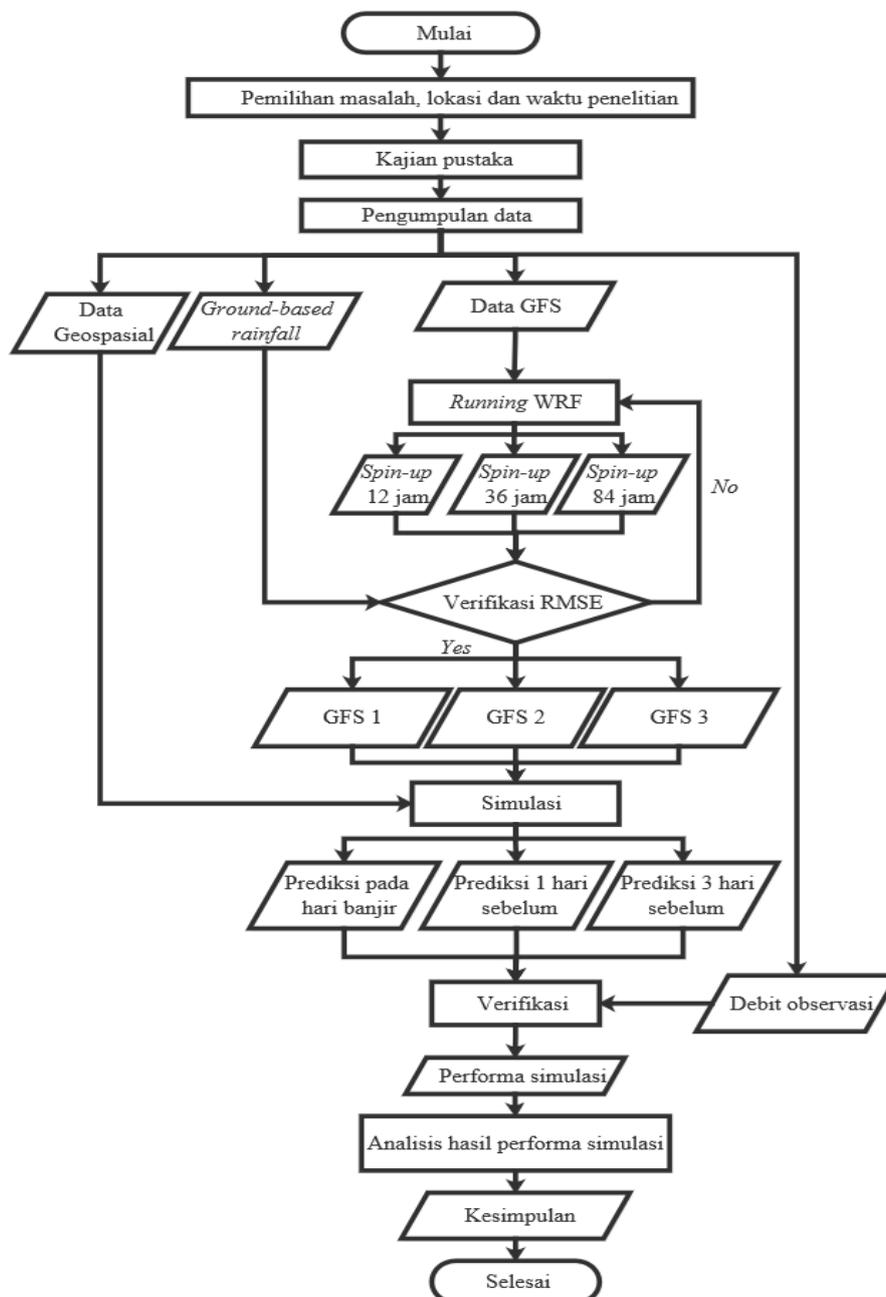
NSE = Nash-Sutcliffe Efficiency

Y_i^{obs} = Debit observasi

Y_i^{sim} = Debit simulasi

Y^{mean} = Debit observasi rata-rata

n = Jumlah data



Gambar (Figure) 2. Diagram alur penelitian (Research flowchart)

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Verifikasi Data Hujan GFS

Verifikasi performa curah hujan GFS 1, 2 dan 3 dievaluasi melalui nilai RMSE pada Tabel 1 terhadap dua titik AWS yaitu AWS Jumantono dan Paron. Ketiga GFS menunjukkan nilai RMSE yang beragam. GFS 3 memiliki nilai RMSE yang cenderung paling rendah dibandingkan dua jenis GFS lainnya. Nilai RMSE ini dapat membantu pengukuran akurasi. Nilai RMSE yang rendah mengindikasikan akurasi yang tinggi demikian pula sebaliknya RMSE yang tinggi menunjukkan akurasi yang rendah. (Wilks, 2006). Oleh karena itu, berdasarkan analisis diketahui bahwa data prediksi curah hujan milik GFS 3 dengan waktu *spin-up* 84 jam memiliki performa yang jauh lebih baik dibandingkan data GFS 1 dan 2.

B. Simulasi Debit Prediksi

Analisis parameter debit dilakukan pada dua titik pos yaitu dengan membandingkan debit observasi dengan simulasi. Gambar 3 memuat grafik *overlay* data hujan dan debit simulasi GFS 1, 2 dan 3 serta debit hasil observasi. Kesamaan pola dimiliki oleh kedua pos pada Gambar 3 berupa pola

puncak hujan yang dibentuk serta debit. Kedua grafik menunjukkan puncak hujan pertama terbentuk sekitar pukul 15.00 hingga 17.00 WIB Tanggal 05 Maret 2019. Puncak hujan yang telah tercapai ini kemudian diikuti dengan peningkatan nilai debit baik debit observasi maupun simulasi. Puncak hujan yang kedua terbentuk sekitar pukul 12.00 hingga 17.00 WIB Tanggal 06 Maret 2019. Peningkatan debit juga terjadi setelah puncak hujan seperti pada puncak hujan yang pertama.

Grafik yang dibentuk GFS 3 memiliki nilai debit yang lebih tinggi dibandingkan dengan simulasi debit lainnya. Analisis secara umum, Pos Cepu yang terletak di wilayah hilir ini memiliki nilai debit simulasi dan observasi yang lebih besar dibandingkan Pos Ketonggo. Analisis juga menunjukkan bahwa setidaknya dibutuhkan waktu 3 hingga 5 jam terhitung dari puncak hujan untuk debit mengalami peningkatan secara signifikan. Peningkatan debit yang terjadi setelah puncak hujan di kedua pos terjadi karena aliran permukaan (*surface runoff*) timbul setelah intensitas curah hujan yang terjadi melampaui kapasitas infiltrasi (Agustianto, 2014).

Tabel (Table) 1. Nilai RMSE curah hujan GFS di AWS Jumantono dan Paron (*RMSE value of GFS rainfall in AWS Jumantono and Paron*)

Nomor (Number)	AWS	GFS 1	GFS 2	GFS 3
1.	Jumantono	33,074	29,230	21,880
2.	Paron	10,123	18,706	9,844

Sumber (Source): Analisis data (*Data analysis*), 2020



Gambar (Figure) 3. Grafik hujan dan debit simulasi dari GFS 1, 2, 3 dan observasi (Graphic of rainfall and discharge simulations from GFS 1,2,3 and observation)

Sumber (Source) : Analisis data (Data analysis), 2020

C. Performa Simulasi Debit Prediksi

Kemampuan IFAS dalam menyimulasikan debit diverifikasi terhadap debit observasi dengan nilai r dan NSE yang tercantum pada Tabel 2. NSE merupakan statistik yang menunjukkan besaran variasi residual antara simulasi dan data observasi. Nilai ini bervariasi dari $-\infty$ hingga 1 (Moriassi *et al.*, 2007). Berdasarkan Tabel 2 diketahui bahwa GFS 3 memiliki nilai NSE yang cenderung lebih dekat ke nilai 1

dibandingkan simulasi lainnya, bahkan pada Pos Cepu nilai NSE terlihat berada pada rentang 0–1. Hal tersebut mengindikasikan bahwa simulasi debit prediksi GFS 3 memiliki performa yang lebih baik khususnya di Cepu. Hasil ini sesuai dengan penelitian Chinh, Thi, Thuan, Van, Thanh & Van (2014) yang menunjukkan bahwa IFAS memiliki performa yang baik untuk sungai besar dan performa sebaliknya pada cabang sungai.

Tabel (Table) 2. Nilai NSE dan r debit simulasi Ketonggo dan Cepu terhadap debit observasi (The NSE and r values of the discharge simulation of the Ketonggo and Cepu to the observed discharge)

Nomor (Number)	Pos		GFS 1	GFS 2	GFS 3
1.	Ketonggo	NSE	-6,82	-6,75	-1,48
		r	-0,03	0,70	0,30
2.	Cepu	NSE	-3,30	-2,36	0,60
		r	0,74	0,73	0,86

Sumber (Source): Analisis data (Data analysis), 2020

Nilai r menunjukkan hasil yang berbeda pada GFS 1 dimana perubahan nilai debit simulasi dan observasi memiliki hubungan terbalik. Hubungan erat perubahan nilai debit simulasi dan observasi ditunjukkan dengan baik pada GFS 3 khususnya Pos Cepu.

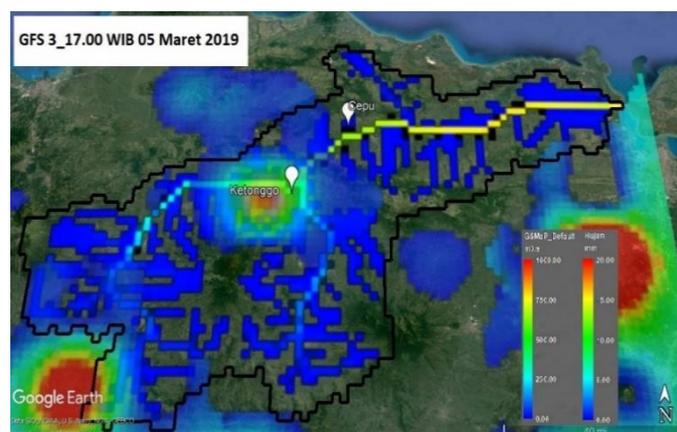
Perbedaan hasil simulasi yang dimiliki antar data GFS terjadi karena pengaruh dari waktu *spin-up*. Pemodelan cuaca numerik sebelumnya menunjukkan konsistensi yang baik pada waktu *spin-up* 12 jam dibandingkan dengan 6 jam (Ulmer & Balss, 2016). Model cuaca numerik membutuhkan waktu *spin-up* untuk mengembangkan sirkulasi skala meso. Oleh karena itu, model (Kleczek, Steeneveld & Holtslag, 2014).

Simulasi debit menggunakan data GFS ini dapat menunjukkan besarnya waktu yang dibutuhkan untuk memulai peningkatan debit di wilayah hilir ketika hujan terjadi di hulu. Distribusi hujan dan debit secara spasial pada Gambar 3 menunjukkan bahwa hujan tidak hanya terjadi di pos analisis akan tetapi juga terjadi di sekitar wilayah hulu. Hasil analisis menunjukkan bahwa

dibutuhkan waktu sekitar 5 jam untuk hujan di hulu meningkatkan debit secara signifikan di wilayah hilir yang dalam hal ini adalah Pos Cepu. Hujan dan debit memiliki hubungan positif yang mengindikasikan bahwa terdapat hubungan antara hujan di wilayah hulu, tengah dan hilir suatu DAS (Zuma, Murti Laksono, & Suharnoto, 2017). panjang pendeknya waktu *spin-up* akan sangat berpengaruh terhadap keluaran

IV. KESIMPULAN

Simulasi debit dapat dilakukan dengan memanfaatkan data model cuaca numerik yang telah di-*downscale*. Hal tersebut memungkinkan untuk dilakukannya prediksi debit berdasarkan nilai curah hujan kedepannya dengan berbagai penelitian konfigurasi. Analisis simulasi debit dengan data GFS menunjukkan bahwa waktu *spin-up* 84 jam yang lebih baik dibandingkan konfigurasi *spin-up* lainnya. Hal itu terjadi karena konfigurasi *spin-up* merupakan faktor penting dalam model cuaca numerik sebagai proses dalam menguantifikasi skala meso sehingga pendekatan yang dihasilkan



Gambar (Figure) 4. Distribusi spasial curah hujan dan debit simulasi dari GFS 3 pukul 10.00 UTC Tanggal 05 Maret 2019 (Spatial distribution of rainfall and discharge simulations from GFS 3 at 10.00 UTC March 5th 2019)

Sumber (Source) : Analisis data (Data analysis), 2020

menjadi lebih representatif. Simulasi menunjukkan tercapainya puncak debit setelah puncak hujan sudah terlampaui. IFAS menunjukkan performa yang berbeda pada pos pengamatan tinggi muka air. Performa simulasi yang baik terdapat di wilayah hilir berdasarkan nilai NSE dan r di pos Cepu.

Potensi untuk memprediksi debit banjir hingga 84 jam sebelum banjir tersebut terjadi sangat mungkin untuk dilakukan seperti yang ditunjukkan oleh hasil GFS 3. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian selanjutnya untuk menguji skema waktu prediksi optimal lainnya yang memiliki potensi lebih baik untuk prediksi debit serta jenis data model cuaca numerik dan konfigurasi yang paling representatif untuk prediksi debit banjir di DAS Bengawan Solo.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika yang telah memberikan dukungan, Balai Besar Wilayah Sungai Bengawan Solo atas ketersediaan data untuk keperluan verifikasi serta Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia untuk akses *High Processing Computer* (HPC).

KONTRIBUSI PENULIS

Deffi M Putri: menyajikan ide penelitian, merancang dan melakukan penelitian, analisis data dan penyusunan tulisan.

Aries Kristianto: melakukan penelitian, menguatkan teori dan analisis data, penyusunan tulisan, serta mengawasi penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustiarto, D. A. (2014). Model hubungan hujan dan runoff (studi lapangan). *Jurnal Teknik Sipil Dan Lingkungan*, 2(2), 215–224.
- Astuti, H.P., & Lasminto, U. (2014). Pemodelan hujan debit pada daerah aliran sungai Bengawan Solo dengan distributed model menggunakan Integrated flood analysis system (IFAS). *Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Prasarana Wilayah (ATPW)* (pp.31-36). Surabaya: ITS.
- Aziz, A., & Tanaka, S. (2010). Regional parameterization and applicability of integrated flood analysis system (IFAS) for flood forecasting of Upper-Middle Indus River classification of hydrological models. *Pakistan Journal of Meteorology*, 8(15), 21–38.
- Chinh, D. D., Thi, N., Thuan, T., Van, P. T., Thanh, T. N., & Van, V. (2014). Research the applicability of IFAS model in flood analysis (Pilot at Bang Giang river basin in Cao Bang Province). *Proceedings of the 28th EnviroInfo 2014 Conference*.
- Chow, M. F., & Jamil, M. M. (2017). Review of development and applications of Integrated Flood Analysis System (IFAS) for flood forecasting in insufficiently-gauged catchments. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 12 (Specialissue11), 9210–9215.
<https://doi.org/10.3923/jeasci.2017.9210.9215>
- Gustari, I., Hadi, T. W., Hadi, S., & Renggono, F. (2012). Akurasi prediksi curah hujan harian operasional di Jabodetabek : Perbandingan dengan model WRF. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 13(2), 119–130.
<https://doi.org/10.31172/jmg.v13i2.126>

- Han, S., & Coulibaly, P. (2017). Bayesian flood forecasting methods: A review. *Journal of Hydrology*, 551(June), 340–351. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.06.004>
- Jain, S. K., Mani, P., Jain, S. K., Prakash, P., Singh, V. P., Tullos, D., ... Dimri, A. P. (2018). A Brief review of flood forecasting techniques and their applications. *International Journal of River Basin Management*, 16(3), 329–344. <https://doi.org/10.1080/15715124.2017.1411920>
- Kleczek, M. A., Steeneveld, G. J., & Holtslag, A. A. M. (2014). Evaluation of the weather research and forecasting mesoscale model for GABLS3: Impact of boundary-layer schemes, boundary conditions and spin-up. *Boundary-Layer Meteorology*, 152(2), 213–243. <https://doi.org/10.1007/s10546-014-9925-3>
- Kristianto, A., & Putri, D. M. (2020). Kajian awal simulasi banjir di Bengawan Solo berbasis data GSMaP dan model cuaca numerik: (Studi kasus banjir Bengawan Solo 05 – 07 Maret 2019). *Jurnal Meteorologi Klimatologi Dan Geofisika*, 6(3), 39-47. <https://doi.org/10.36754/jmkg.v6i3.127>
- Le, X. H., Ho, H. V., Lee, G., & Jung, S. (2019). Application of long short-term memory (LSTM) neural network for flood forecasting. *Water (Switzerland)*, 11(7). <https://doi.org/10.3390/w11071387>
- Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Liew, M. W. Van, Bingner, R. L., Harmel, R. D., & Veith, T. L. (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE*, 50(3), 885–900.
- Shahzad, A., Gabriel, H. F., Haider, S., Mubeen, A., & Siddiqui, M. J. (2018). Development of a flood forecasting system using IFAS: a case study of scarcely gauged Jhelum and Chenab river basins. *Arabian Journal of Geosciences*, 11(14). <https://doi.org/10.1007/s12517-018-3737-6>
- Soebroto, A. A., Cholissodin, I., Wihandika, R. C., Frestantiya, M. T., & Arief, Z. El. (2015). Prediksi tinggi muka air (TMA) untuk deteksi dini bencana banjir menggunakan SVR-TVIWPSO. *Jurnal Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer*, 2(2), 79. <https://doi.org/10.25126/jtiik.201522126>
- Ulmer, F.-G., & Balss, U. (2016). Spin-up time research on the weather research and forecasting model for atmospheric delay mitigations of electromagnetic waves. *Journal of Applied Remote Sensing*, 10(1), 016027. <https://doi.org/10.1117/1.jrs.10.016027>
- Wilks D.S. (2006). *Statistical Methods in The Atmospheric Sciences Second Edition*. California: Elsevier.
- Zuma, D. S., Murtilaksono, K., & Suharnoto, Y. (2017). Analisis curah hujan dan debit model SWAT dengan metode moving average di DAS Ciliwung Hulu. *Journal of Natural Resources and Environmental Management*, 7(2).