

STUDI KOMPARASI HASIL *Downscaling* DATA HUJAN TRMM PADA BERBAGAI RESOLUSI

Raden Harya Dananjaya, Siti Nurlita Fitri, Yunita Cahyaningsih

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret

Jln. Ir. Sutami 36A, Jebres, Surakarta 57126

Email : dananjaya.harya@gmail.com

Abstract

Rainfall data is one of the important data needed in disaster mitigation. Karanganyar of Central Java, which is located in the highlands, is prone to landslides. Unfortunately, the availability of rainfall data in this area is not adequate. However, the satellite-derived rainfall data, such as the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM), can be used as an alternative. There are several limitations of TRMM data, such as its large pixel size and its accuracy. In order to tackle these two problems, *downscaling* and calibration are needed. This study is conducted to investigate the accuracy of *downscaled* and calibrated TRMM data in three different scenarios, i.e. pixel size of 1 km, 500 m, and 250 m. The *downscaling* process is carried out using the linear regression method with the help of the GRASS GIS application. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) is used as a dependent variable in the *downscaling* process, while the rain gauge station (RGS) data are used in the calibration process. The coefficients of determination (R^2), Bias (B), and Root Mean Square Error (RMSE) are computed to validate the *downscaled* and calibrated TRMM data. The results show that each scenario has a good accuracy. The values of R^2 , Bias, and RMSE range from 0.90-0.92; 0,05-0,06; and 256.67-266.63, respectively. Among the three scenarios, *downscaled* and calibrated TRMM having pixel size of 500 m outperform the others

Keywords: *Downscaling*, Landslide, NDVI, TRMM

Abstrak

Data curah hujan adalah salah satu data krusial yang diperlukan untuk mitigasi bencana. Daerah Karanganyar, Jawa Tengah yang berada di dataran tinggi merupakan daerah rawan bencana longsor. Namun, data hujan yang tersedia tidak memadai. Perkembangan teknologi penginderaan jarak jauh dapat dijadikan alternatif untuk melengkapi data curah hujan, misalnya data Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM). Dikarenakan resolusi spasial dari data TRMM terlalu kasar, maka perlu dilakukan *downscaling* atau peningkatan resolusi pada data TRMM sebelum digunakan. Selain itu, kalibrasi data TRMM hasil *downscaling* perlu dilakukan untuk meningkatkan akurasi. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan nilai keakuratan dari data curah hujan TRMM hasil *downscaling* dan kalibrasi dengan resolusi spasial 1 km, 500 m, dan 250 m terhadap data hujan stasiun. Proses *downscaling* dilakukan menggunakan metode regresi linier dengan bantuan aplikasi GRASS GIS dan dilakukan untuk memperoleh resolusi dengan ukuran *cell* 1 km, 500 m, dan 250 m. Variabel bebas yang digunakan dalam proses tersebut adalah data NDVI. Setelah proses *downscaling* selesai, dilakukan proses kalibrasi dan validasi menggunakan data curah hujan stasiun. Proses validasi dilakukan dengan menghitung koefisien determinasi (R^2), Bias (B), dan Root Mean Square Error (RMSE). Hasil validasi menunjukkan bahwa data TRMM yang telah ter-*downscaling* dan terkalibrasi memiliki akurasi yang relatif tinggi dengan nilai R^2 , Bias, dan RMSE secara berturut-turut berkisar antara 0,90-0,92; 0,05-0,06; dan 256,67-266,63. Dari ketiga nilai validasi yang dihitung, nilai R^2 dan RMSE untuk resolusi 500 m memiliki akurasi paling baik.

Kata Kunci : *Downscaling*, NDVI, TRMM

PENDAHULUAN

Data hujan merupakan salah satu data terpenting yang dibutuhkan dalam pemodelan hidrologi, lingkungan, dan geologi. Data hujan diperlukan dalam perencanaan mitigasi bencana alam, seperti banjir dan longsor. Data hujan diperoleh dari stasiun pengukur hujan. Kondisi wilayah Indonesia berupa dataran tinggi dan medan yang sulit dijangkau menyebabkan stasiun pengukur hujan tidak menyebar secara merata. Kondisi ini menyebabkan distribusi data hujan stasiun terbatas secara spasial.

Seiring perkembangan teknologi, data hujan dapat diperoleh dari penginderaan jarak jauh menggunakan satelit. Salah satu satelit pengukur hujan adalah TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*). Satelit ini mampu mengukur curah hujan dalam pada daerah yang luas dan selang waktu yang cukup kecil. Penggunaan satelit TRMM ini dapat dijadikan sebagai alternatif dalam memperoleh data hujan. Namun, resolusi dari TRMM terlalu kasar dan akurasinya belum

memadai sehingga perlu dilakukan *downscaling* (peningkatan resolusi) dan kalibrasi. Proses *downscaling* TRMM dilakukan dengan menggunakan variabel lingkungan yang memiliki resolusi lebih halus. Variabel lingkungan yang digunakan adalah NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index Downscaling*) karena saling mempengaruhi dan memiliki hubungan dengan data TRMM (Park, 2013). Hubungan antara NDVI dan TRMM yaitu semakin rapat vegetasi maka kuantitas hujan semakin meningkat. Peningkatan terjadi karena adanya proses evapotranspirasi yang dihasilkan.

Penelitian mengenai *downscaling* dan kalibrasi TRMM menggunakan NDVI telah dilakukan sebelumnya. Namun, *downscaling* terhadap TRMM hanya dilakukan hingga skala 1 km (Zhang dkk., 2018; Duan dan Bastiaanssen, 2013). Oleh karena itu, pada penelitian ini *downscaling* TRMM dilakukan pada tiga skala yaitu 1 km, 500 m, dan 250 m. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan keakuratan dari TRMM hasil *downscaling* dan kalibrasi dalam berbagai resolusi. *Downscaling* TRMM dilakukan dalam tiga resolusi yaitu 1 km, 500 m, dan 250 m. Validasi dilakukan dengan menghitung koefisien determinasi (R^2), Bias (B), dan *Root Mean Square Error* (RMSE). Data hujan yang dipakai adalah data hujan daerah Karanganyar Jawa Tengah

Penggunaan data TRMM sebagai alternatif data curah hujan telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Krisnayanti, dkk. (2020) melakukan evaluasi kesesuaian data TRMM dengan data pos hujan pada DAS Temef Kabupaten Timor Tengah Selatan. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa data hujan TRMM memiliki kesesuaian yang cukup baik. Penggunaan data curah hujan TRMM dengan resolusi spasial yang mempunyai ukuran *cell* $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ dianggap terlalu kasar untuk dijadikan input dalam analisis hidrologi sehingga perlu dilakukan *downscaling*. Penelitian tentang *downscaling* spasial data TRMM telah dilakukan oleh Duan dan Bastiaanssen pada tahun 2013. Penelitian tersebut mengubah ukuran *cell* $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ menjadi 1 km x 1 km dengan menghubungkan data TRMM dengan data NDVI yang memiliki resolusi lebih halus menggunakan regresi non linier. Kemudian dilakukan proses kalibrasi untuk meningkatkan akurasi dari hasil *downscaling*. Hasil validasi menunjukkan hasil *downscaling* TRMM memiliki hasil yang akurat (Duan dan Bastiaanssen, 2013).

Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)

Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) merupakan misi antara NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) dan JAXA (*Japan Aerospace Exploration Agency*) untuk mengukur curah hujan di wilayah tropis. Satelit ini diluncurkan pada tanggal 27 November 1997 dibawa oleh roket H-II di Tanegashima, Jepang (NASDA, 2011). Data TRMM berbentuk grid dengan resolusi spasial tertinggi memiliki ukuran *cell* $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ dan resolusi temporal berupa data 3 zaman, harian dan bulanan. Data TRMM dapat diunduh melalui *website* <https://disc.gsfc.nasa.gov> (TRMM, 2011). Satelit TRMM memiliki orbit berbentuk polar dengan inklinasi sebesar 35° terhadap garis ekuator. Ketinggian orbit pada awal peluncuran mencapai 350 km kemudian diubah menjadi 403 km sejak 24 Agustus 2001. Data TRMM memiliki berbagai resolusi spasial yaitu $0,25^\circ \times 0,25^\circ$; $0,5^\circ \times 0,5^\circ$; $1,0^\circ \times 1,0^\circ$; dan $5,0^\circ \times 5,0^\circ$ (Syaifullah, 2014).

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) merupakan indikator tingkat kepadatan, tingkat kehijauan serta kondisi dari vegetasi suatu wilayah. Besaran nilai kehijauan vegetasi diperoleh dari pengolahan sinyal digital data nilai kecerahan (*brightness*) dari beberapa data sensor satelit. Pemantauan vegetasi dilakukan dengan membandingkan antara tingkat kecerahan kanal cahaya merah (*red*) dan kanal cahaya inframerah dekat (*near infrared*) (Amliana dkk., 2016). Data NDVI diperoleh dari sensor MODIS dan diunduh melalui *website* <https://modis.gsfc.nasa.gov> dengan skala spasial sebesar 1 km (MOD13A2), 500 m (MOD13A1), dan 250 m (MOD13Q1). Ketiga *dataset* NDVI ini diterbitkan oleh Didan pada tahun 2015.

Downscaling

Downscaling adalah prosedur untuk mengubah informasi data dari beresolusi rendah menjadi resolusi tinggi. *Downscaling* bisa mengacu pada peningkatan resolusi spasial dan resolusi temporal. *Downscaling* dilakukan dengan membentuk persamaan regresi. Regresi biasanya dilakukan untuk mencari hubungan antara curah hujan TRMM dan variabel lingkungan, misalnya NDVI. Pada penelitian ini, analisis regresi dilakukan menggunakan regresi linier sederhana. Persamaan regresi linier dapat dilihat pada Persamaan [1].

$$Y = a + bX \dots\dots\dots[1]$$

keterangan :

- Y = variabel dependen (TRMM)
- X = variabel *independent* (NDVI)
- a = konstanta (nilai dari Y apabila X = 0)
- b = koefisien regresi (pengaruh positif atau negatif)

Validasi

Validasi adalah pemeriksaan akurasi dari suatu model terhadap data nyata di lapangan hasil dari observasi. Pada penelitian ini, validasi dilakukan pada data curah hujan TRMM ter-*downscaling* dan terkalibrasi untuk melihat tingkat keakuratan terhadap data hujan stasiun. Validasi dilakukan dengan menghitung koefisien determinasi (R^2), Bias (B), dan *Root Mean Square Error* (RMSE) (Chen dkk., 2015; Jia dkk, 2011; Li dkk., 2012). Koefisien determinasi (R^2) adalah derajat korelasi linier antara curah hujan satelit dan curah hujan stasiun. *Bias* adalah selisih nilai antara data hujan stasiun dan perkiraan hujan satelit. Nilai yang kecil menunjukkan deviasi yang kecil. RMSE digunakan untuk mengukur perbedaan antara nilai yang diprediksi dengan nilai sebenarnya, menggambarkan besarnya kesalahan kecil hasil *downscaling* dengan data stasiun hujan. Perhitungan dari ketiga metode validasi dapat dilihat pada Persamaan [2] hingga Persamaan [4].

$$R^2 = \frac{\left[\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P}) \right]^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 (P_i - \bar{P})^2} \dots\dots\dots [2]$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{n}} \dots\dots\dots [3]$$

$$Bias = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n \sum_{i=1}^n O_i} \dots\dots\dots [4]$$

Keterangan:

- O_i = curah hujan hasil pengukuran stasiun hujan
- \bar{O} = rata-rata curah hujan stasiun
- n = jumlah banyak data
- P_i = estimasi curah hujan (*downscaling*, *downscaling* dan terkalibrasi)
- \bar{P} = rata-rata estimasi curah hujan (*downscaling*, *downscaling* dan terkalibrasi)

METODE

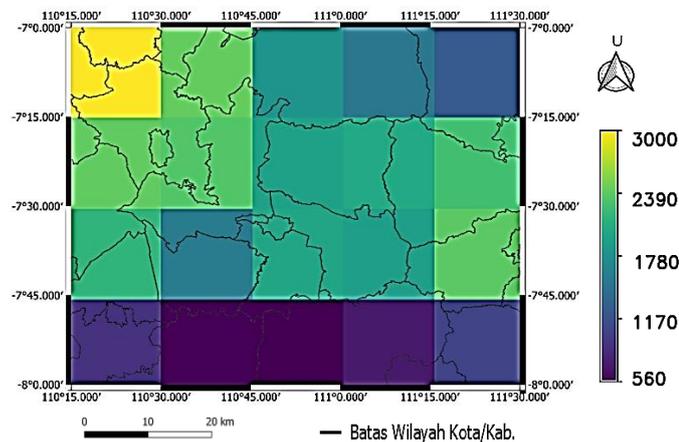
Tahap pertama dari penelitian ini adalah pengumpulan data. Data yang dikumpulkan berupa data sekunder. Data sekunder dalam penelitian ini yaitu data curah hujan stasiun dan satelit TRMM pada Tahun 2019. Data curah hujan stasiun akan dibagi menjadi data *training* dan *testing*. Data *training* digunakan untuk kalibrasi sedangkan *testing* untuk validasi. Data curah hujan stasiun dalam penelitian ini terdiri dari data Stasiun Pos Hujan Tawangmangu, Colo, Klaten, Kalijambe, Pabelan, Nepen, Jatipuro, Delingan dan Karangpandan. Data satelit terdiri dari data TRMM dan NDVI tahun 2019. Data TRMM dan NDVI yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1 hingga Gambar 4.

Proses *downscaling* data curah hujan TRMM dilakukan sebagai berikut:

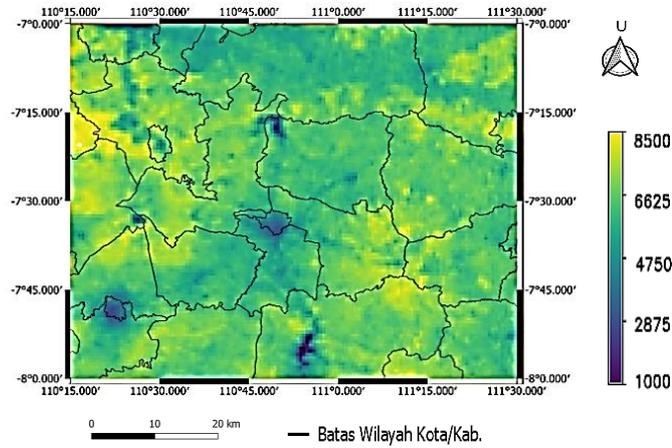
1. Mengunduh data curah hujan TRMM yang memiliki resolusi $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ dalam 3 jam-an dan data NDVI dengan resolusi spasial 1 km, 500 m, dan 250 m.
2. *Upscaling* temporal data curah hujan TRMM sehingga memiliki resolusi $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ dalam tahunan. Data ini digunakan untuk mendapatkan estimasi hujan residu.

3. *Upscaling* spasial dan temporal seluruh data NDVI menjadi data dengan resolusi $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ dalam tahunan.
4. Mencari persamaan model curah hujan dengan melakukan regresi linier pada data curah hujan TRMM dan NDVI yang memiliki resolusi sama menggunakan fitur *r.regression.line* dalam aplikasi GRASS GIS.
5. Menginput nilai NDVI dengan resolusi $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ ke dalam persamaan sebagai nilai X, pada proses ini didapat curah hujan lingkungan.
6. Menghitung curah hujan residu dengan mengurangi curah hujan lingkungan dengan curah hujan TRMM original dalam tahunan yang menghasilkan curah hujan residu dengan resolusi $0,25^\circ \times 0,25^\circ$.
7. Menginterpolasi curah hujan residu dengan resolusi $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ menjadi curah hujan residu $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$ menggunakan interpolasi *spline*.
8. Menginput data NDVI $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$ ke dalam persamaan model curah hujan pada tahap 4 sehingga didapat estimasi curah hujan tidak terkoreksi residu.
9. Menghitung curah hujan terkoreksi resolusi 1 km dengan menjumlahkan curah hujan residu dan curah hujan tidak terkoreksi residu resolusi 1 km .
10. Menginput data NDVI dengan resolusi spasial 500 m dan 250 m ke dalam persamaan model curah hujan sehingga didapat hujan tidak terkoreksi residu dengan resolusi 500 m dan 250 m .
11. Menghitung hujan residu dengan spasial 500 meter dan 250 meter dengan melakukan interpolasi *spline* terhadap hujan residu dengan resolusi 1 km .
12. Menghitung estimasi curah hujan terkoreksi resolusi 500 m dan 250 m dengan menambahkan curah hujan residu dengan estimasi curah hujan tidak terkoreksi residu pada masing-masing resolusi 500 meter dan 250 meter .

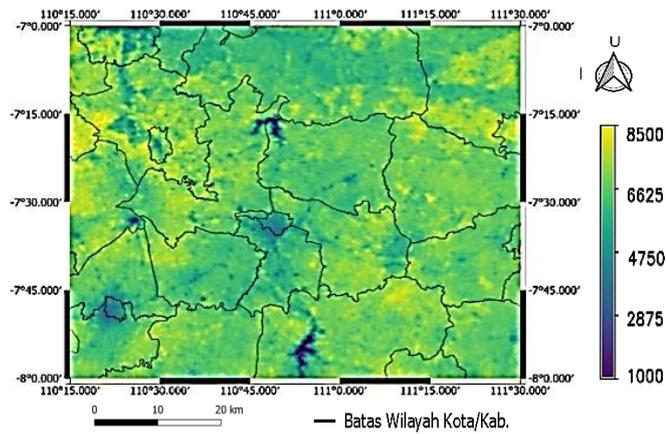
Setelah proses *downscaling*, kemudian dilakukan proses kalibrasi dan validasi menggunakan data hujan stasiun. Kalibrasi dilakukan menggunakan metode GDA (*Geographical Difference Analysis*) dengan menjumlahkan curah hujan TRMM hasil *downscaling* dengan curah hujan *error*. Curah hujan *error* diperoleh dengan interpolasi IDW terhadap selisih hujan *error*. Selisih hujan *error* adalah selisih antara curah hujan TRMM hasil *downscaling* dengan curah hujan stasiun. Validasi dilakukan dengan menghitung R^2 , Bias, dan RMSE. Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil kalibrasi dengan curah hujan stasiun.



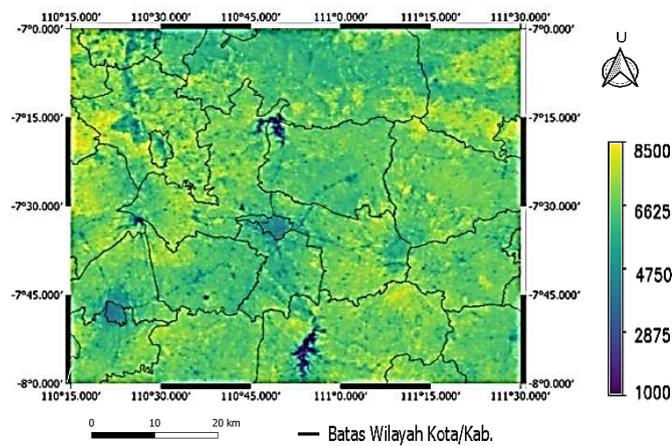
Gambar 1. TRMM dengan resolusi $0,25^\circ \times 0,25^\circ$



Gambar 2. NDVI dengan resolusi 1 km



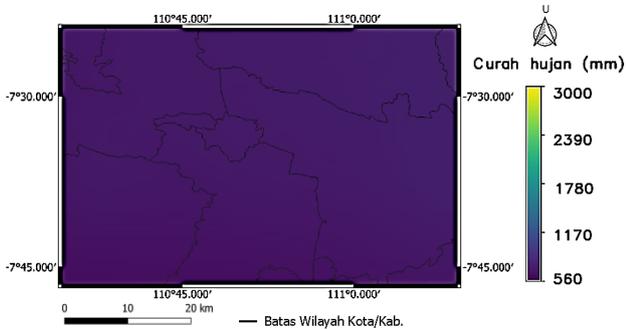
Gambar 3. NDVI dengan resolusi 500 m



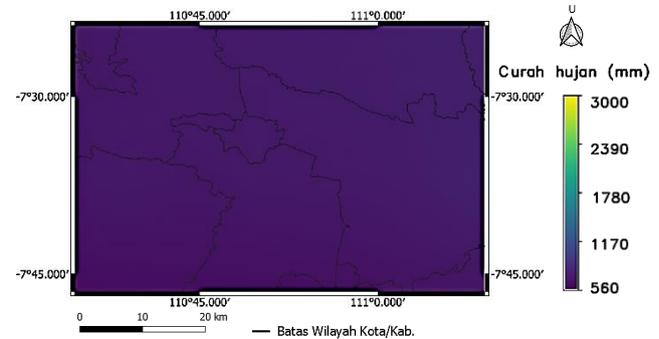
Gambar 4. NDVI dengan resolusi 250 m

HASIL DAN PEMBAHASAN

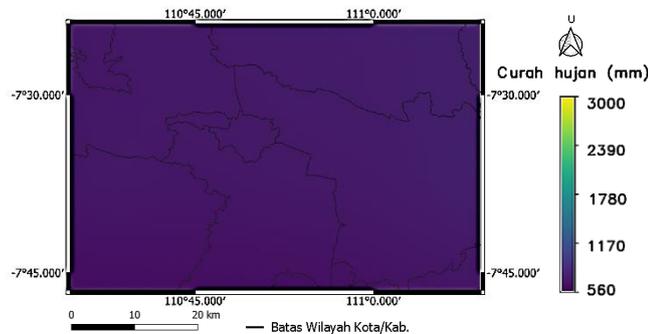
Proses *downscaling* yang dilakukan menggunakan bantuan *software* GRASS GIS menghasilkan hujan terkoreksi. Hujan terkoreksi dengan resolusi 1 km, 500 m, dan 250 m tahun 2019 dapat dilihat pada Gambar 5 hingga Gambar 7.



Gambar 5. Hujan terkoreksi resolusi 1 km



Gambar 6. Hujan terkoreksi resolusi 500 m

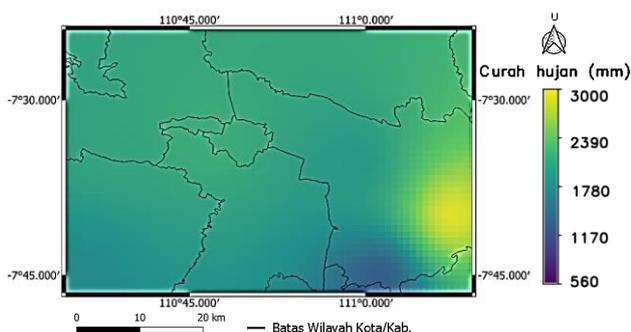


Gambar 7. Hujan terkoreksi resolusi 250 m

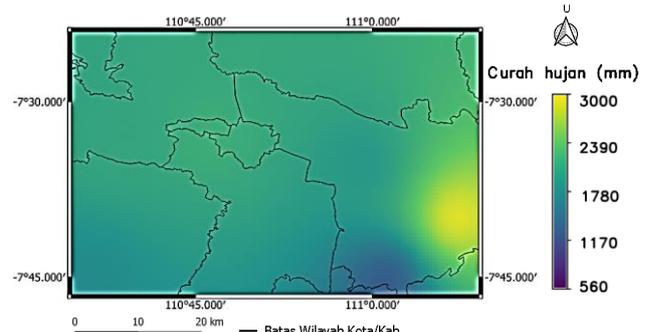
Kalibrasi dilakukan menggunakan data hujan stasiun yang diperoleh dari BBWS Bengawan Solo. Data curah hujan stasiun untuk tahun 2019 dapat dilihat pada Tabel 1. Dari Tabel 1, data diurutkan dari nilai terkecil ke terbesar untuk membagi menjadi data *training* dan *testing*. Urutan stasiun berdasarkan dari data curah hujan stasiun terkecil adalah Jatipuro, Colo, Klaten, Kalijambe, Delingan, Nepen, Pabelan, Karangpandan, dan Tawangmangu. Kalibrasi menggunakan data *training* dari stasiun bernomor urut 1, 3, 5, 6, 7 dan 9. Hasil kalibrasi dari data hujan terkoreksi untuk tahun 2019 dapat dilihat pada Gambar 8 hingga Gambar 10.

Tabel 1. Data curah hujan stasiun

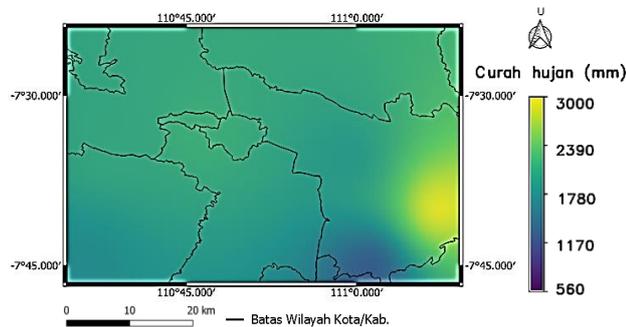
Stasiun	Colo	Delingan	Jatipuro	Kalijambe	Karangpandan	Klaten	Nepen	Pabelan	Tawangmangu
Curah hujan (mm)	1427	1861	1289	1746	2526	1729	1994	2084	2909



Gambar 8. Hujan terkalibrasi resolusi 1 km



Gambar 9. Hujan terkalibrasi resolusi 500 m



Gambar 10. Hujan terkalibrasi resolusi 250 m

Proses validasi dilakukan menggunakan dataset *testing*, yaitu data hujan yang diambil dari stasiun dengan nomor urut 2, 4, dan 8. Hasil validasi dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Rekapitulasi hasil validasi hujan terkalibrasi

Tahun	Parameter								
	R ²			Bias			RMSE		
	1 km	500 m	250 m	1 km	500 m	250 m	1 km	500 m	250 m
2019	0,9054	0,9240	0,9117	0,0548	0,0604	0,0572	266,6260	256,6723	262,4858

Dari Tabel 2, hasil *downscaling* dan kalibrasi TRMM dengan resolusi 1 km memiliki nilai R^2 sebesar 0,905; *Bias* sebesar 0,054; dan nilai RMSE sebesar 266,626. Resolusi 500 m memiliki nilai R^2 sebesar 0,924; *Bias* sebesar 0,060; dan nilai RMSE sebesar 256,672. Hasil dari resolusi 250 m memiliki nilai R^2 sebesar 0,912; *Bias* sebesar 0,057; dan nilai RMSE sebesar 262,486. Nilai R^2 dari ketiga resolusi lebih besar dari 0,86. Hal ini menunjukkan bahwa keakuratan data curah hujan hasil *downscaling* dan kalibrasi masuk dalam kategori sangat baik (Moriassi dkk., 2007). Nilai RMSE yang ditunjukkan pada Tabel 2 merupakan nilai *error* dalam tahunan sehingga apabila dijadikan harian nilai RMSE sekitar 0,7 mm. Nilai *Bias* dan RMSE dari ketiga resolusi hampir mendekati nol sehingga hasil penelitian bisa dikatakan memiliki akurasi yang baik dan dapat digunakan dalam analisis selanjutnya, misalnya analisis banjir, longsor, dll. Berdasarkan R^2 dan RMSE, resolusi 500 m menunjukkan akurasi yang paling tinggi dibandingkan dengan kedua resolusi lainnya.

SIMPULAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa data curah hujan TRMM yang ter-*downscaling* dan terkalibrasi dapat digunakan untuk alternatif data curah hujan, karena akurasi dari data tersebut pada resolusi spasial 1 km, 500 m, dan 250 m cukup tinggi. Nilai R^2 , *Bias*, dan RMSE dari ketiga resolusi menunjukkan nilai yang tidak jauh berbeda. Nilai R^2 , *Bias*, dan RMSE secara berturut-turut berkisar antara 0,90-0,92; 0,05-0,06; dan 256,67-266,63. Hasil validasi dari data curah hujan TRMM yang ter-*downscaling* dan terkalibrasi dengan resolusi 500 m lebih unggul pada nilai R^2 dan RMSE.

REFERENSI

- Amliana D. R., Prastyo Y., & Sukmono A., 2016, "Analisis Perbandingan Nilai NDVI Landsat 7 dan Landsat 8 pada Kelas Tutupan Lahan (Studi Kasus: Kota Semarang, Jawa Tengah)". *Jurnal Geodesi Undip*. Vol 5 No 1.
- Chen C., Zhao S., Duan Z., & Qin Z., 2015, "An Improved Spatial Downscaling Procedure for TRMM 3B43 Precipitation Product Using Geographically Weighted Regression". *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*. Vol. 8 No. 9), pp. 4592-4604. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2015.2441734>
- Didan, K., 2015, "MOD13Q1 MODIS/Terra Vegetation Indices 16-Day L3 Global 250m SIN Grid V006". NASA EOSDIS Land Processes DAAC. Accessed 2021-11-23 from <https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD13Q1.006>
- Didan, K., 2015, "MOD13A2 MODIS/Terra Vegetation Indices 16-Day L3 Global 1km SIN Grid V006". NASA

- EOSDIS Land Processes DAAC. Accessed 2021-11-23 from <https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD13A2.006>
- Didan, K., 2015, "MOD13A1 MODIS/Terra Vegetation Indices 16-Day L3 Global 500m SIN Grid V006". NASA EOSDIS Land Processes DAAC. Accessed 2021-11-23 from <https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD13A1.006>
- Duan Z., & Bastiaanssen W. G. M., 2013, "First results from Version 7 TRMM 3B43 precipitation product in combination with a new downscaling-calibration procedure". *Remote Sensing of Environment*. Vol. 131, pp. 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.12.002>
- Jia S., Zhu W., Lü A., & Yan T., 2011, "A statistical spatial downscaling algorithm of TRMM precipitation based on NDVI and DEM in the Qaidam Basin of China". *Remote Sensing of Environment*. Vol. 115, pp. 3069–3079.
- Krisnayanti D. S., Welkis D. F. B., Hepy F. M., & Legono D., 2020, "Evaluasi Kesesuaian Data *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) dengan Data Pos Hujan Pada Das Temef di Kabupaten Timor Tengah Selatan". *Jurnal Sumber Daya Air*. Vol. 16 No. 1, pp. 51–62. <https://doi.org/10.32679/jsda.v16i1.646>
- Li X., Zhang Q., & Xu C., 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. 426–427, pp. 28–38.
- Moriasi D. N., Arnold J. G., Van Liew M. W., 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*, Vol. 50 No. 3, pp. 885–900.
- NASDA., 2011, "TRMM Data Users Handbook". Earth Observation Center National Space Development Agency of Japan. Japan.
- Park, N. W., 2013, "Spatial downscaling of TRMM precipitation using geostatistics and fine scale environmental variables". *Advances in Meteorology*. <https://doi.org/10.1155/2013/237126>
- Syaifulloh, M. D., 2014, "Validasi Data Trmm Terhadap Data Curah Hujan Aktual Di Tiga Das Di Indonesia". *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika*. Vol. 15 No. 2, pp. 109–118. <https://doi.org/10.31172/jmg.v15i2.180>
- Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM), 2011, "TRMM (TMPA) Rainfall Estimate L3 3 hour 0.25 degree x 0.25 degree V7, Greenbelt, MD". Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC), Accessed: 2021-11-21, <https://doi.org/10.5067/TRMM/TMPA/3H/7>
- Zhang Y., Li Y., Ji X., Luo X., Li X., 2018, "Fine-Resolution Precipitation Mapping in a Mountainous Watershed: Geostatistical Downscaling of TRMM Products Based on Environmental Variables". *Remote Sensing*. Vol. 10 No. 1. <https://doi.org/10.3390/rs10010119>