

AKURASI METODE RANDOM FOREST PADA PROSES DOWNSCALING DAN KALIBRASI DATA TROPICAL RAINFALL MEASSURING MISSION

Raden Harya Dananjaya, Galuh Chrismaningwang, Fajar Era Prihantoro

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret
Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami 36A, Surakarta 57126. Telp: 021-64524.
Email: dananjaya.harya@staff.uns.ac.id

Abstract

Rainfall data is crucial for flood and landslide mitigation planning. Unfortunately, the availability of rainfall data is inadequate and limited. However, satellite-derived rainfall data, such as the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM), can be used as an alternative. Unfortunately, the spatial resolution of TRMM is still not very accurate. Because of that, downscaling and calibration are needed. This study is aimed at determining the effect of the downscaling and calibration processes using the Random Forest (RF) method on increasing the accuracy of TRMM data. This study is carried out by downscaling, calibrating, and validating TRMM data. The process of downscaling TRMM data is done by regressing TRMM data with NDVI data using the RF regression method. In this regression, NDVI data acts as the independent variable. After the downscaling process, the TRMM data is calibrated and validated with data from observation stations. The downscaling and calibration processes are carried out with the help of the GRASS GIS application. The validation process involves using the coefficient of determination (R^2), bias (B), and root mean square error (RMSE) methods. The validation results show that downscaling and calibrated TRMM data have relatively high accuracy, with R^2 , Bias, and RMSE values of 0.9986, respectively; 0.0297; and 276.282. Based on the validation value, it can be concluded that the downscaling and calibration process with the RF method can increase the accuracy of the TRMM data.

Keywords: downscaling, NDVI, random forest, TRMM.

Abstrak

Data hujan adalah data krusial yang diperlukan untuk perencanaan mitigasi bencana longsor dan banjir. Namun data hujan yang tersedia kurang memadai dan terbatas. Perkembangan teknologi telah mampu membuat data hujan satelit misalnya data *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM), yang dapat dijadikan alternatif untuk melengkapi data hujan. Namun data TRMM memiliki resolusi spasial kasar sehingga perlu dilakukan *downscaling* untuk meningkatkan resolusinya sebelum digunakan. Data TRMM hasil *downscaling* perlu dikalibrasi untuk meningkatkan akurasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh proses *downscaling* dan kalibrasi dengan metode *Random Forest* (RF) terhadap peningkatan akurasi data TRMM terhadap data hujan stasiun. Pada penelitian ini dilakukan proses *downscaling*, kalibrasi, dan validasi data TRMM. Proses *downscaling* data TRMM dilakukan dengan mencari hubungan antara data NDVI dan TRMM menggunakan metode RF. Dalam regresi ini data NDVI berperan sebagai variabel bebas. Setelah *downscaling* selesai dilanjutkan proses kalibrasi dan validasi menggunakan data hujan stasiun. Proses *downscaling* dan kalibrasi dilakukan dengan bantuan aplikasi GRASS GIS. Proses validasi dilakukan dengan menghitung koefisien determinasi (R^2), *Bias* (B), dan *Root Mean Square Error* (RMSE). Hasil validasi menunjukkan data TRMM ter-*downscaling* dan terkalibrasi memiliki akurasi yang relatif tinggi dengan nilai R^2 , *Bias*, dan *RMSE* secara berturut-turut 0,9986; 0,0297; dan 276,282. Berdasarkan nilai validasi maka dapat disimpulkan proses *downscaling* dan kalibrasi dengan metode RF dapat meningkatkan akurasi data TRMM.

Kata Kunci : downscaling, NDVI, random forest, TRMM.

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara beriklim tropis sehingga menyebabkan Indonesia rentan terhadap bencana hidrometeorologi, seperti tanah longsor dan banjir. Berdasarkan data yang dikeluarkan BNPB salah satu provinsi yang sering terjadi longsor adalah Provinsi Jawa Tengah, tercatat sebanyak 1356 kasus telah terjadi per tahun 2021 (<https://bnpb.go.id/>, diakses pada November 2021). Penyebab utamanya adalah tingginya intensitas curah hujan, yang mengganggu kestabilan lereng (Naryanto dkk., 2019; Lestari dan Agustina, 2022). Berdasarkan hal tersebut maka data hujan merupakan data yang krusial dalam perencanaan mitigasi bencana. Data hujan dapat dijadikan acuan untuk pemodelan hidrologi maupun sebagai data untuk analisis dan pemetaan tanah longsor.

Data curah hujan umumnya diperoleh dari stasiun pengamatan hujan. Akan tetapi data ini memiliki keterbatasan, diantaranya karena persebaran stasiun pengamatan hujan kurang merata, jarang ditemui pada daerah pegunungan, dan daerah terpencil sehingga data ini kurang efektif dalam memvisualisasikan distribusi curah hujan di suatu area secara spasial (Chen dkk., 2014). Seiring perkembangan zaman dikembangkan pengukuran curah hujan menggunakan satelit misalnya *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM), yang mampu mengatasi keterbatasan data hujan stasiun. Namun TRMM memiliki resolusi yang masih kasar sehingga perlu ditingkatkan resolusinya dengan menurunkan skalanya (*downscaling*). Selain peningkatan resolusi, data TRMM juga dikalibrasi agar memiliki akurasi yang tinggi. *Downscaling* TRMM dapat dilakukan dengan berbagai metode seperti regresi *Random Forest*.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat akurasi data TRMM ter-*downscaling* dan terkalibrasi dengan metode *Random Forest* (RF). Data TRMM hasil *downscaling* dan kalibrasi akan di validasi menggunakan data hujan dari stasiun pengamatan hujan dengan mengukur nilai koefisien determinasi (R^2), *Bias* (B), dan *Root Mean Square Error* (RMSE). Data hujan yang digunakan berasal dari stasiun pengamatan hujan yang tersebar di sekitar Eks Karesidenan Surakarta.

TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian terkait *downscaling* TRMM telah banyak dilakukan oleh peneliti-peneliti sebelumnya seperti dilakukan oleh Duan dan Bastiaanssen (2013) di Laut Kaspia dan Danau Tana. Pada penelitian ini, data curah hujan TRMM tahunan yang semula berukuran $0,25^0 \times 0,25^0$ tiap pixel atau sekitar $25 \text{ km} \times 25 \text{ km}$ di-*downscaling* hingga mencapai ukuran $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$. Proses *downscaling* dilakukan dengan melakukan regresi pada data TRMM dan data *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) dengan regresi *non linear*. TRMM hasil *downscaling* kemudian dikalibrasi dengan metode GDA dan GRA sehingga akurasi data curah hujan meningkat. *Downscaling* data TRMM dilakukan dengan beberapa metode, salah satunya adalah *Random Forest* (RF), seperti yang dilakukan oleh Shi dan Song (2015). Shi dan Song (2015) melakukan proses *downscaling* dan kalibrasi data curah hujan di dataran Tibet. Hasil dari penelitian ini tingkat akurasi data TRMM meningkat tinggi. Jing (2016) telah melakukan penelitian mengenai *downscaling* TRMM dengan beberapa metode regresi diantaranya RF, SVM, dan kuadrat terkecil hasilnya RF memiliki hasil yang paling akurat dibandingkan dengan yang lainnya. Karbalaye (2021) melakukan penelitian yang membandingkan metode kalibrasi GDA dengan GRA hasilnya TRMM hasil kalibrasi GDA lebih akurat dibandingkan hasil kalibrasi GRA. Berdasarkan penelitian sebelumnya maka pada penelitian ini dilakukan proses *downscaling* data TRMM dengan metode RF dan dikalibrasi dengan metode GDA pada data curah hujan di sekitar Eks Karesidenan Surakarta.

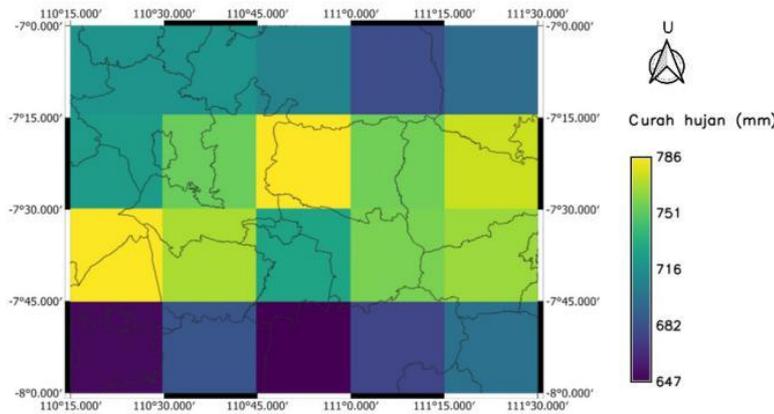
DASAR TEORI

Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)

The Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) merupakan satelit penginderaan jarak jauh yang dihasilkan dari bekerjasama antara dua badan antariksa nasional yaitu *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) dan *Japan Exploration Agency* (JAXA) yang diluncurkan pada 28 November 1997 di *Tanegashima Space Center* Jepang dengan roket H-11 (NASDA, 2011). Data TRMM dapat diunduh dari laman resmi <https://disc.gsfc.nasa.gov/>. Satelit TRMM bertujuan untuk meningkatkan pemahaman mengenai distribusi dan variabilitas presipitasi di daerah tropis sebagai bagian dari siklus air dalam sistem iklim saat ini. Untuk digunakan dalam proses *downscaling* maka data hujan TRMM ini perlu dilakukan *upsampling temporal* agar resolusi waktunya menjadi tahunan. Proses *upsampling temporal* dilakukan menggunakan *software* GRASSGIS. Data hujan TRMM disimpan dalam grid dengan ukuran $0,25^0 \times 0,25^0$. Salah satu contoh peta raster data TRMM disajikan pada Gambar 1.

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) adalah data yang menyajikan tingkat vegetasi suatu daerah dengan memanfaatkan tingkat kehijauan tanaman (Didan, 2015). Data NDVI dapat diunduh pada laman resmi <https://lpdaac.usgs.gov/>. NDVI memiliki rentang nilai tingkat vegetasi suatu objek berkisar dari -1 sampai 1. Rentang nilai -1 sampai 0 menunjukkan objek tidak terdapat vegetasi, sedangkan nilai 0 sampai 1 menunjukkan objek terdapat vegetasi. Rentang nilai tersebut diperoleh dengan membandingkan reflektansi vegetasi yang diterima oleh sensor pada panjang gelombang merah (RED) dan *Near-Infrared* (NIR) (Mukhlisin & Soemarno, 2020).



Gambar 1. Peta TRMM

Regresi *Random Forest* (RF)

Random Forest (RF) adalah algoritma *machine learning* untuk regresi dan klasifikasi untuk data dalam jumlah besar yang dibuat oleh Breiman (2001). RF merupakan pengembangan dari *Classification and Regression Tree* (CART) sehingga cara kerja algoritma ini adalah dengan membuat banyak *tree predictors* atau pohon prediksi. Pohon prediksi dibuat dengan membuat data set baru yang diambil secara acak dengan pengembalian dari data set asli yang diprediksi. Hasil regresi RF adalah dari rata-rata nilai prediksi setiap *tree predictors* sehingga bila terbentuk semakin banyak pohon maka hasilnya akan semakin akurat. Persamaan RF dapat dilihat pada Persamaan [1]

$$f = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N f_i(x) \dots \dots \dots [1]$$

keterangan :

- f = Prediksi akhir
- N = Jumlah *tree predictors*
- $f_i(x)$ = Nilai prediksi tiap *tree predictors*

Kalibrasi

Kalibrasi model data adalah proses pemilihan kombinasi dari suatu data yang dijadikan tolak ukur terhadap data prediktif yang diamati untuk mengembangkan lebih lanjut tingkat koherensinya, dalam hal ini data prediktif adalah data curah hujan TRMM dan data tolak ukurnya adalah data hujan stasiun (Rahma dkk., 2019). Kalibrasi data TRMM yang *terdownscaling* diperlukan untuk mengkoreksi kesalahan atau *error* agar dapat dihasilkan curah hujan prediksi yang lebih akurat. Proses kalibrasi dilakukan dengan mengkomparasi data TRMM suatu area dengan data hujan stasiun di area tersebut (Cheema dan Bastiaanssen 2012). Terdapat beberapa metode untuk kalibrasi data TRMM diantaranya adalah metode *Geographical Differential Analysis* (GDA), dan *Geographical Ratio Analysis* (GRA). Pada penelitian ini digunakan metode GDA karena metode ini banyak dilakukan pada penelitian-penelitian sebelumnya (Arshad dkk., 2021; Duan & Bastiaanssen, 2013; Karbalaye Ghorbanpour dkk., 2021). Proses kalibrasi GDA dapat ditunjukkan melalui Persamaan [2] hingga Persamaan [3].

$$P_{error}^{po\ int} = P_{TRMM}^{uncal} - P_{RGS} \dots \dots \dots [2]$$

$$P_{TRMM}^{calibrated} = P_{TRMM}^{uncal} + P_{error}^{po\ int} \dots \dots \dots [3]$$

keterangan :

- $P_{error}^{po\ int}$ = Selisih curah hujan

- $P_{TRMM}^{calibrated}$ = Curah hujan TRMM *downscaling* dan terkalibrasi
 P_{TRMM}^{uncal} = Curah hujan TRMM hasil *downscaling*
 P_{RGS} = Curah hujan stasiun pengamatan

Validasi

Validasi model adalah proses evaluasi atau penilaian terhadap suatu model untuk mendapat gambaran tentang tingkat ketidakpastian atau tingkat akurasi yang dimiliki oleh suatu model prediksi terhadap pengukuran aktual (Rahma dkk., 2019). Data hujan stasiun pengamatan yang tidak digunakan pada proses kalibrasi akan digunakan sebagai *validator* terhadap data TRMM yang ter*downscaling* dan terkalibrasi. Metode validasi yang digunakan pada penelitian ini adalah metode *R-squared* (R^2), *Root Mean Square Error* (RMSE), dan *Bias* (Karbalye Ghorbanpour dkk., 2021) yang ditunjukkan pada Persamaan [4] hingga Persamaan [6].

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (P_{obs} - \overline{P_{obs}})(P_i - \overline{P_i})]^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \overline{O})^2 \sum_{i=1}^n (P_i - \overline{P_i})^2} \dots\dots\dots [4]$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_{obs} - P_i)^2}{n}} \dots\dots\dots [5]$$

$$Bias = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{\sum_{i=1}^n O_i} \dots\dots\dots [6]$$

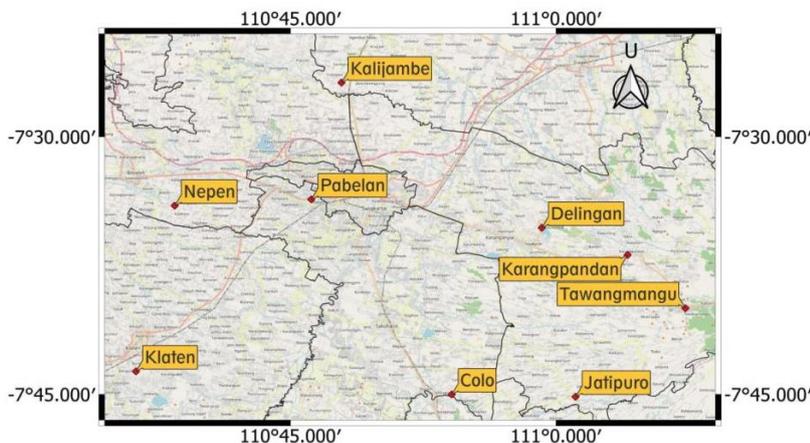
keterangan :

- P_i = curah hujan TRMM terkalibrasi
 P_{obs} = curah hujan pengukuran stasiun pengamatan
 n = jumlah pengamatan

METODE

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini berada di Eks Karesidenan Surakarta, yaitu Kota Surakarta dan sekitarnya meliputi sebagian Kabupaten Karanganyar, Sukoharjo, Sragen, Klaten, Boyolali. Di daerah penelitian terdapat sembilan stasiun pengamatan hujan, yaitu Stasiun Tawangmangu, Klaten, Colo, Jatipuro, Kalijambe, Nepen, Karangpandan, Pabelan, Delingan. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Peta lokasi penelitian dan stasiun pengamatan hujan

Data Penelitian

Penelitian ini menggunakan data sekunder yang didapat melalui *website* maupun instansi pemerintah. Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data TRMM tahun 2019, NDVI tahun 2019, dan curah hujan stasiun pengamatan hujan tahun 2019 di sembilan titik sesuai Gambar 2. Data TRMM diperoleh dari *website* <https://disc.gsfc.nasa.gov>, NDVI diperoleh dari *website* <https://lpdaac.usgs.gov>, dan data curah hujan stasiun didapatkan dari Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Sungai Bengawan Solo. Data curah hujan stasiun tahun 2019 disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data curah hujan tahunan stasiun pengamatan Tahun 2019

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

Downscaling Data TRMM

Proses *downscaling* dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Menyiapkan data TRMM yang mempunyai ukuran piksel $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ dan resolusi temporal 3 jam-an, serta data NDVI yang mempunyai ukuran piksel $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$ dan resolusi temporal tahunan,
2. Melakukan *upsampling* temporal terhadap data TRMM sehingga beresolusi $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ dalam tahunan dan melakukan *upsampling* spasial terhadap data NDVI sehingga beresolusi $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ dalam tahunan,
3. Mencari hubungan antara TRMM dengan NDVI dengan membuat model regresi RF dengan *script python* di Jupyter Notebook dengan menggunakan data TRMM dan NDVI yang didapat pada langkah ke-2. Dalam pemodelan regresi ini data NDVI digunakan sebagai variabel bebas dan data TRMM sebagai variabel terikatnya. Regresi RF memerlukan parameter *n-estimator* untuk menentukan jumlah *tree predictor* yang akan dibuat, pada penelitian digunakan nilai *n-estimator* sebagai berikut ini:
 $n : 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, 130, 140, 150, 160, 170, 180, 190, 200, 210, 220, 230, 240, 250, 260, 270, 280, 290, 300.$
 Dari semua nilai *n-estimator*, dicari yang menghasilkan model regresi RF terbaik yang digunakan proses *downscaling*,
4. Memasukkan data NDVI resolusi $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ ke dalam model regresi RF sehingga didapat data hujan estimasi resolusi $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ dalam tahunan,
5. Mengkurangkan data TRMM yang didapat pada langkah ke-2 dengan data hujan estimasi pada langkah ke-4 sehingga didapatkan data hujan residu resolusi $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ dalam tahunan,
6. Menginterpolasi data hujan residu resolusi $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ dengan interpolasi *spline* di GRASS GIS untuk mendapatkan data hujan residu resolusi $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$,
7. Memasukkan data NDVI resolusi $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$ ke dalam model regresi RF sehingga didapat data hujan estimasi tak terkoreksi resolusi $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$ dalam tahunan,
8. Menambahkan data hujan estimasi tak terkoreksi langkah ke-7 dengan data hujan residu langkah ke-6 untuk mendapatkan data hujan estimasi terkoreksi resolusi $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$ dalam tahunan.

Proses *downscaling* selesai setelah didapatkan data hujan estimasi terkoreksi resolusi $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$ dalam tahunan, selanjutnya data hujan ini yang akan dikalibrasi.

Kalibrasi Data TRMM

Kalibrasi data TRMM hasil *downscaling* dengan metode GDA dilakukan dengan dalam beberapa tahap sebagai berikut ini :

1. Menentukan set stasiun *training* dan *testing* yang dilakukan dengan mengurutkan nilai curah hujan rata-rata dari 9 stasiun hujan pada Tabel 1 dari yang terendah ke yang tertinggi (stasiun ke-1 – stasiun ke-9), kemudian diambil urutan ke-1, 3, 5, 6, 7, 9 sebagai set *training* dan urutan ke-2,4, dan 8 sebagai set *testing*,
2. Mencari selisih hujan *error* dengan menggunakan Persamaan [2] dengan memasukan data hujan *Rain Gauge Station* (RGS) set *training* dan data hujan estimasi terkoreksi resolusi $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$ yang nilainya berasal dari piksel yang terdapat titik lokasi RGS,
3. Selisih hujan *error* diinterpolasi dengan interpolasi *Inverse Distance Weighting* (IDW) untuk mendapatkan data hujan *error* beresolusi $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$,

- Memasukkan data hujan estimasi terkoreksi dan data hujan *error* langkah ke-3 ke dalam Persamaan [3] sehingga didapatkan data hujan kalibrasi resolusi $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$ dalam tahunan.

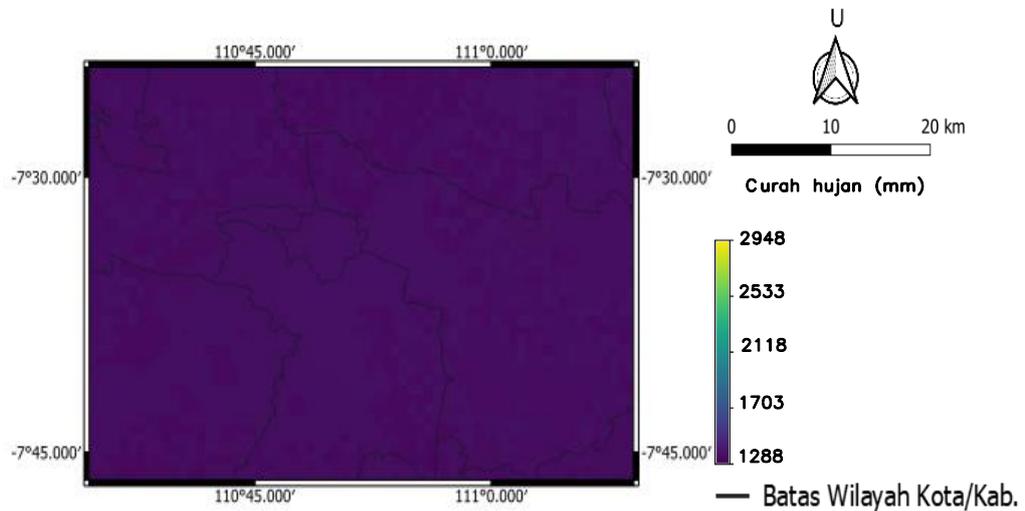
Proses kalibrasi selesai setelah didapatkan data hujan kalibrasi resolusi $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$. Proses kalibrasi dilakukan dengan bantuan aplikasi GRASSGIS. Data hujan ini yang akan digunakan untuk tahap validasi.

Validasi Data TRMM

Validasi data TRMM dilakukan dengan menghitung nilai tiga indeks statistik yaitu *R-squared* (R^2), *Root Mean Square Error* (RMSE), dan *Bias*. Prosesnya dilakukan dengan memasukkan data hujan *Rain Gauge Station* (RGS) set *testing* dan data hujan kalibrasi resolusi $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$ yang nilainya berasal dari piksel yang terdapat titik lokasi RGS ke dalam Persamaan [4], Persamaan [5], dan Persamaan [6].

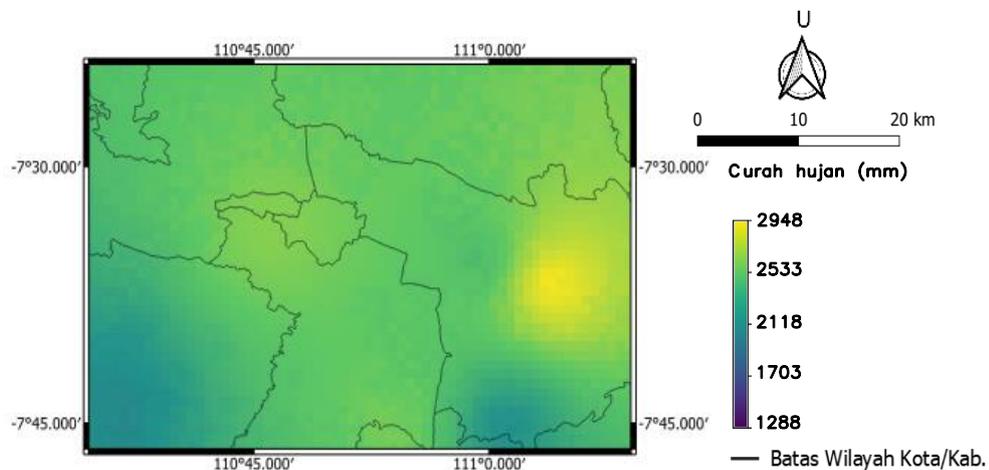
HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses *downscaling* dilakukan menggunakan metode regresi RF yang didapatkan dari model regresi terbaik dengan nilai *n-estimator* = 7. Hasil dari *downscaling* TRMM didapatkan data hujan estimasi terkoreksi resolusi $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$ dalam tahunan yang dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Peta hujan estimasi terkoreksi tahun 2019.

Hujan estimasi terkoreksi selanjutnya dikalibrasi menggunakan metode GDA dengan data RGS *training* yang berasal dari stasiun: Jatipuro, Klaten, Delingan, Nepen, Pabelan, dan Tawangmangu. Hasil kalibrasi data hujan dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Peta hujan kalibrasi tahun 2019.

Hujan kalibrasi selanjutnya digunakan untuk proses validasi dengan data RGS *testing* yang berasal dari stasiun : Colo, Kalijambe, dan Karangpandan. Data hujan yang digunakan untuk validasi disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data hujan untuk validasi tahun 2019

No.	TRMM Kalibrasi (mm/tahun)	RGS (mm/tahun)
1	1753,507	1427
2	1885,873	1746
3	2229,102	2526

Hasil validasi data hujan TRMM yang ter-*downscaling* dan terkalibrasi dengan RGS *testing* disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil validasi

Metode Validasi		
R ²	RMSE	Bias
0,9986	276,282	0,0297

Berdasarkan hasil penelitian yang telah diperoleh, pada Gambar 3, dan Gambar 4 warna ungu menunjukkan nilai curah hujan yaitu 1288-1703, warna biru menunjukkan nilai curah hujan 1703-2118, warna hijau menunjukkan nilai curah hujan 2118-2533, warna kuning menunjukkan nilai curah hujan 2533-2948. Berdasarkan hal tersebut maka secara visual bila dibandingkan antara Gambar 1, Gambar 3, dan Gambar 4 terlihat nilai curah hujan pada Gambar 4 yang paling mendekati dengan nilai curah hujan pada Tabel 1. Hal tersebut membuktikan bahwa proses *downscaling* dan kalibrasi dengan metode RF dapat meningkatkan akurasi data hujan TRMM. Hasil validasi semakin memperkuat bahwa proses *downscaling* dan kalibrasi dengan metode RF dapat meningkatkan akurasi data hujan TRMM, hal tersebut dapat dilihat pada Tabel 3. Hasil nilai R² menghasilkan nilai hitung 0,9986; yang mana menurut Indarto dkk (2008), apabila nilai R² > 0,75 menunjukkan tingkat kesesuaian yang bagus antara data hujan TRMM ter-*downscaling* dan terkalibrasi dengan data hujan stasiun pengamatan. Nilai RMSE yang didapat adalah 276 mm/tahun, namun nilai tersebut masih dalam waktu tahunan sehingga ketika diubah menjadi harian maka didapatkan nilai RMSE perharinya adalah 0,76 mm/hari. Kesalahan 0,76 mm/hari termasuk sangat kecil, sehingga bisa dikatakan hasil *downscaling* dan kalibrasi cukup akurat. Hasil validasi metode *Bias* menunjukkan nilai 0,0297 hal tersebut berarti tingkat kesalahan data hujan TRMM ter-*downscaling* dan terkalibrasi sangat kecil dan sangat bagus karena untuk metode *Bias* apabila nilainya semakin mendekati nol maka akan semakin bagus datanya. Berdasarkan hasil validasi maka model curah hujan TRMM ini dapat digunakan untuk menggantikan data hujan stasiun pengamatan hujan untuk keperluan mitigasi bencana tanah longsor, banjir, dan lain lain.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa proses *downscaling* dan kalibrasi dengan metode RF dapat meningkatkan akurasi data TRMM, hal tersebut dibuktikan dengan nilai validasi R², *Bias*, dan *RMSE* secara berturut-turut 0,9986; 0,0297; dan 276,282. Data curah hujan TRMM *downscaling* dan terkalibrasi dapat digunakan sebagai alternatif pengganti data curah hujan stasiun pengamatan hujan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih penulis ucapkan sebesar-besarnya terhadap pihak-pihak yang telah membantu penulis menyelesaikan penelitian ini.

REFERENSI

- Arshad, A., Zhang, W., Zhang, Z., Wang, S., Zhang, B., Cheema, M. J. M., & Shalamzari, M. J. (2021). Reconstructing high-resolution gridded precipitation data using an improved downscaling approach over the high altitude mountain regions of Upper Indus Basin (UIB). *Science of the Total Environment*, 784, 147140. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147140>
- Cheema, M. J. M., & Bastiaanssen, W. G. M. (2012). Local calibration of remotely sensed rainfall from the TRMM

- satellite for different periods and spatial scales in the Indus Basin. *International Journal of Remote Sensing*, 33(8), 2603–2627. <https://doi.org/10.1080/01431161.2011.617397>
- Chen, F., Liu, Y., Liu, Q., & Li, X. (2014). Spatial downscaling of TRMM 3B43 precipitation considering spatial heterogeneity. *International Journal of Remote Sensing*, 35(9), 3074–3093. <https://doi.org/10.1080/01431161.2014.902550>
- Didan, K. (2015). MOD13A2 MODIS/Terra Vegetation Indices 16-Day L3 Global 1km SIN Grid V006 [Data set]. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. Accessed 2021-11-23 from <https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD13A2.006>
- Duan, Zheng, and W. G.M. Bastiaanssen. 2013. “First Results from Version 7 TRMM 3B43 Precipitation Product in Combination with a New Downscaling-Calibration Procedure.” *Remote Sensing of Environment* 131: 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.12.002>.
- Indarto dkk. (2008). Kalibrasi model hacres pada dua DAS identic. *Jurnal dinamika Teknik sipil*. Vol. 8 No. 1. 12 halaman.
- Jing, W., Yang, Y., Yue, X., & Zhao, X. (2016). A spatial downscaling algorithm for satellite-based precipitation over the Tibetan plateau based on NDVI, DEM, and land surface temperature. *Remote Sensing*, 8(8). <https://doi.org/10.3390/rs8080655>
- Karbalaye Ghorbanpour, A., Hessels, T., Moghim, S., & Afshar, A. (2021). Comparison and assessment of spatial downscaling methods for enhancing the accuracy of satellite-based precipitation over Lake Urmia Basin. *Journal of Hydrology*, 596 (February), 126055. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126055>
- Mukhlisin, A., & Soemarno, S. (2020). Estimasi kandungan klorofil tanaman kopi robusta (*coffea canephora* var. Robusta) menggunakan Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) di Bangelan, Wonosari, Malang. *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, 7(2), 329–339. <https://doi.org/10.21776/ub.jtisl.2020.007.2.18>
- Naryanto, H. S., Soewandita, H., Ganesha, D., Prawiradisastra, F., & Kristijono, A. (2019). Analisis Penyebab Kejadian dan Evaluasi Bencana Tanah Longsor di Desa Banaran, Kecamatan Pulung, Kabupaten Ponorogo, Provinsi Jawa Timur Tanggal 1 April 2017. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 17(2), 272. <https://doi.org/10.14710/jil.17.2.272-282>.
- NASDA. 2001. TRMM Data Users Handbook. Japan : NASDA Earth Observation Center.
- Rahma, N. F., Suhartanto, E., & Harisuseno, D. (2019). Validasi Data Curah Hujan TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) dengan Pos Stasiun Hujan di Sub DAS Sumber Brantas. *Jurnal Mahasiswa Teknik Pengairan Universitas Branjaya*, 2(2), 1–13.
- 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 ,10.5067/TRMM/TMPA/3H/7.
- Lestari, O.P., Utami, S.R. and Agustina, C., 2022. Pengaruh Batuan Dan Seresah Pada Permukaan Tanah Terhadap Pendugaan Longsor Hasil Simulasi. *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, 9(2), pp.347-354.
- Breiman, L. (2001). Random Forest. *Machine Learning*, 45 (1) 5-32.