

## Validasi data hujan satelit IMERG terkalibrasi dengan metode *geographically weighted regression* terhadap data hujan stasiun

Raka Mahindraguna<sup>1,\*</sup>, Raden Harya Dananjaya<sup>1</sup>, Galuh Chrismaningwang<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Surakarta

### Article Info

Available online

### Keywords:

Calibration  
Downscaling  
IMERG  
Rainfall  
Validation

### Corresponding Author:

Raka Mahindraguna  
[rakamahindraguna@student.uns.ac.id](mailto:rakamahindraguna@student.uns.ac.id)

### Abstract

Rainfall monitoring is a crucial aspect of climate modeling and water resource management. The widespread availability of satellite rainfall data, such as Integrated Multi-satellitE Retrievals for Global Precipitation Measurement (IMERG), offers the potential to obtain high-resolution global precipitation information. However, it is essential to evaluate the validity of IMERG satellite rainfall data against ground-based station measurements. The aim of this study is to evaluate the validity of IMERG satellite rainfall data in representing ground station rainfall data. In this study, IMERG satellite rainfall data with a 10 km resolution is downscaled to a resolution of 250 m using the Geographically Weighted Regression (GWR) method. The GWR model incorporates the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) data as an environmental variable. Then, the downscaled data is calibrated with the ground station rainfall data. The calibration ensures optimal alignment between the downscaled data and the ground observations. The calibrated rainfall data is then compared to ground station rainfall data using various validation metrics, including R-squared for linear regression, Bias, Root Mean Squared Error (RMSE), and Mean Absolute Error (MAE). In general, the validation results indicate that the calibrated IMERG provides more accurate results ( $R^2=0,95$ ;  $RMSE=148,80$  mm;  $MAE=124,91$  mm; and  $Bias=0,05$ ) compared to the original IMERG and downscaled results. High correlation and low prediction errors suggest that the calibrated IMERG is sufficiently reliable and can serve as a good alternative rainfall data to represent the actual rainfall occurring in the field in 2021.

Copyright © 2023 Universitas Islam Indonesia  
All rights reserved

### Pendahuluan

Pemantauan curah hujan memiliki peranan yang sangat penting dan luas cakupannya dalam berbagai bidang, contohnya dalam pemodelan iklim, perencanaan dan pengelolaan sumber daya air, pengawasan kualitas air, dan sistem peringatan dini bencana. Data hasil pengukuran curah hujan

dengan alat pengukur hujan konvensional yang ditempatkan pada pos-pos stasiun hujan menjadi sumber data utama yang sering digunakan. Akan tetapi, karena kurangnya jumlah dan tidak meratanya persebaran stasiun curah hujan di Indonesia menjadi kendala tersendiri yang patut dipersoalkan. Hal tersebut menyiratkan bahwa data curah hujan stasiun tidak bisa

secara akurat merepresentasikan curah hujan sebenarnya yang terjadi di lapangan. Dalam hal ini, data curah hujan yang diperoleh melalui citra satelit, seperti *Integrated Multi-satellitE Retrievals for Global Precipitation Measurement* (IMERG), memberikan informasi yang sangat berharga mengenai curah hujan global dengan tingkat resolusi yang tinggi ( $10 \text{ km} \times 10 \text{ km}$ ) dan *temporal coverage* yang tinggi pula (30 menit). Namun, demi memastikan keandalan data IMERG tersebut, sangatlah penting untuk melakukan evaluasi dengan membandingkannya dengan data pengukuran asli yang diperoleh melalui pos-pos stasiun hujan lapangan. Penelitian ini bertujuan untuk memvalidasi atau mengukur tingkat akurasi data IMERG yang telah terkalibrasi terhadap data curah hujan stasiun. Hal tersebut diperlukan untuk menguji representatifitas data IMERG terhadap data curah hujan aktual di lapangan.

### Tinjauan Pustaka

Pemantauan curah hujan merupakan aspek penting dalam pemodelan iklim dan pengelolaan sumber daya air (Ajadi dkk., 2017). Data curah hujan yang akurat dan terkini diperlukan untuk memahami pola iklim, memprediksi cuaca, dan mengambil keputusan terkait pengelolaan sumber daya air (Sultana dkk., 2019). Saat ini, data curah hujan satelit telah menjadi sumber informasi yang penting dalam menyediakan data curah hujan global dengan resolusi tinggi (Kumar dkk., 2014). Salah satu produk data curah hujan satelit yang sering digunakan adalah data IMERG. Namun, penting untuk mengevaluasi validitas data curah hujan satelit IMERG dengan membandingkannya dengan pengukuran di stasiun lapangan (Habib dkk., 2017).

Proses *downscaling* merupakan langkah penting dalam meningkatkan resolusi spasial data curah hujan satelit seperti IMERG (Khan dkk., 2018). Metode *downscaling* yang sering digunakan adalah *Geographically Weighted Regression* (GWR) yang memungkinkan penyesuaian

data curah hujan satelit dengan variabilitas spasial yang ada (Shen dkk., 2020). Dalam penelitian ini, *downscaling* data IMERG dilakukan menggunakan metode GWR untuk mencapai resolusi  $10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$ .

Namun, untuk memastikan keakuratan data curah hujan hasil *downscaling*, perlu dilakukan proses kalibrasi dengan menggunakan data curah hujan yang diukur di stasiun lapangan (Feyisa dkk., 2014). Kemudian validasi data curah hujan adalah tahap yang sangat penting dalam mengevaluasi keakuratan data hasil *downscaling* (Akinremi dkk., 2019). Dalam penelitian ini, data curah hujan hasil *downscaling* IMERG yang telah dikalibrasi akan divalidasi dengan data curah hujan yang diukur di stasiun lapangan menggunakan berbagai metrik evaluasi, termasuk *R-squared* untuk regresi linear, *Bias*, *Root Mean Squared Error* (RMSE), dan *Mean Absolute Error* (MAE) (Adnan dkk., 2020).

Dalam beberapa penelitian sebelumnya, data curah hujan satelit *downscaling* yang telah dikalibrasi dan divalidasi telah terbukti memiliki perbaikan signifikan dalam hal representasi pola curah hujan dibandingkan dengan data asli IMERG (Rahman dkk., 2016; Naseem dkk., 2018). Korelasi yang lebih tinggi (misalnya, *R-squared* > 0,8) dan kesalahan yang lebih rendah (misalnya, *Bias*, RMSE, dan MAE) mengindikasikan data hasil *downscaling* IMERG yang telah dikalibrasi dan divalidasi dengan data stasiun lapangan dapat memiliki akurasi yang baik. Begitu juga sebaliknya, korelasi yang rendah dan kesalahan yang tinggi menandakan bahwa data yang telah diolah memiliki akurasi yang buruk.

### Dasar Teori

#### *Integrated Multi-satellitE Retrievals for Global Precipitation Measurement (IMERG)*

IMERG adalah produk curah hujan satelit terpadu berbentuk peta yang diproduksi oleh *National Aeronautics and Space*

*Administration* (NASA) dan *Japan Aerospace and Exploration Agency* (JAXA) untuk memperkirakan presipitasi (curah hujan dan salju) permukaan di sebagian besar belahan dunia. Hal tersebut dimungkinkan dengan menggunakan data dari jaringan satelit, termasuk satelit inti *Global Precipitation Measurement* (GPM) dan sensor satelit lainnya. IMERG menawarkan data curah hujan dengan resolusi spasial  $10 \text{ km} \times 10 \text{ km}$  dan waktu pengambilan gambar setiap 30 menit sekali (Huffman dkk., 2015). Karena cakupan regionalnya yang sangat luas hingga seluruh dunia, maka data IMERG layak dipertimbangkan sebagai salah satu alternatif data curah hujan.

#### **Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)**

NDVI adalah suatu indeks untuk menilai tingkat kepadatan dan kehijauan suatu tanaman. Indeks vegetasi merupakan kombinasi matematis antara radiasi cahaya merah dan NIR (*Near-Infrared Radiation*) yang digunakan sebagai indikator keberadaan dan kondisi vegetasi di suatu daerah. NDVI sering digunakan untuk memetakan dan memantau tutupan vegetasi di suatu lahan dari waktu ke waktu melalui sistem penginderaan jarak jauh atau citra satelit.

Pada dasarnya setiap permukaan objek yang ada di bumi memiliki kemampuan untuk menyerap ataupun memantulkan cahaya yang dipancarkan oleh sumber cahaya, dalam hal ini adalah matahari. Tanaman yang hijau dan sehat karena memiliki banyak zat hijau daun (klorofil), akan menyerap lebih banyak cahaya merah untuk melakukan proses fotosintesis sehingga lebih sedikit memantulkan cahaya merah oleh matahari. Di lain sisi, tanaman yang sehat sangat baik dalam memantulkan gelombang cahaya NIR.

Berbanding terbalik dengan tanaman yang hijau dan sehat, tanaman yang kurang sehat lebih sedikit menyerap cahaya merah dan kurang baik dalam memantulkan gelombang cahaya NIR. NDVI oleh Rouse dkk. (1973) dihitung dengan mengambil selisih antara pantulan cahaya merah dan cahaya NIR kemudian dibagi dengan penjumlahan antara keduanya. Hasil dari perhitungan tersebut akan menghasilkan nilai dengan rentang -1 hingga 1, dengan nilai yang lebih tinggi menunjukkan vegetasi yang sehat dan rapat. Persamaan NDVI dapat dilihat pada Pers. (1) sebagai berikut,

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

Dimana *NIR* adalah *Near-Infrared Radiation* atau cahaya radiasi infra-merah dan *RED* adalah *red-light* atau cahaya merah.

#### **Downscaling**

*Downscaling* merupakan proses untuk menurunkan skala atau menaikkan resolusi suatu data secara spasial. Dengan kata lain, proses *downscaling* memerlukan data dengan skala besar untuk membuat proyeksi dengan lebih detail dengan skala lokal. Proses ini sendiri sering dimanfaatkan untuk memodelkan cuaca dan iklim, dimana suatu data berskala global dapat digunakan untuk memprediksi cuaca dan iklim yang ada di masa depan.

Dalam penelitian ini, dengan proses *downscaling* dapat diperoleh data spasial berupa peta dengan resolusi yang lebih detail. Proses *downscaling* dilakukan dengan meregresi data hujan satelit dengan data variabel lingkungan. Contoh variabel lingkungan yang dapat digunakan untuk proses *downscaling* data hujan satelit, yaitu data NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), DEM (*Digital Elevation Method*), LST (*Land Surface Temperature*), AET (*Actual Evapotranspiration*), dan WDS (*Wind Speed*) (Jing dkk., 2017).

### Geographically Weighted Regression (GWR)

GWR adalah metode yang memberikan kesempatan kepada analis untuk memeriksa perbedaan spasial yang mungkin terjadi dalam hubungan antara variabel dependen dan variabel independen di berbagai daerah penelitian (Clement dkk., 2009).

Dalam regresi linier biasa, diasumsikan bahwa hubungan antara variabel dependen dan independen adalah konstan di seluruh area. Namun, dalam beberapa kasus, hubungan tersebut dapat berbeda di berbagai lokasi geografis. GWR mengatasi asumsi ini dengan memperkenalkan bobot spasial yang bervariasi untuk setiap observasi dalam analisis.

Dalam analisis GWR, bobot spasial diberikan kepada observasi berdasarkan jarak spasialnya dengan observasi lain. Bobot ini memberikan pengaruh yang lebih besar kepada observasi yang berdekatan secara spasial dan pengaruh yang lebih kecil kepada observasi yang lebih jauh. Dengan demikian, analisis GWR memungkinkan estimasi parameter regresi yang berbeda-beda untuk setiap lokasi geografis.

GWR sering digunakan dalam analisis data spasial dan geografi untuk memahami dan memodelkan variasi spasial dalam hubungan antar variabel. Turunan persamaan dari model GWR menjadi model regresi linear bisa ditulis dalam Pers. (2) sebagai berikut,

$$y = a + bx \tag{2}$$

Dimana  $y$  adalah pengamatan  $i$  tahun dari variabel terikat,  $a$  merupakan pengamatan  $i$  tahun dari variabel bebas  $k$  tahun,  $b$  koordinat geografi dari titik sampel  $i$  tahun, dan  $x$  adalah parameter regresi  $k$  tahun di titik regresi  $i$  tahun.

#### Kalibrasi dan Validasi

Kalibrasi terhadap suatu model adalah proses optimalisasi nilai untuk memberikan estimasi terbaik dari model prediksi

terhadap pengukuran aktual yang diamati (Sutikno dkk., 2014). Data yang digunakan untuk mengkalibrasi data hujan satelit diperoleh dari data stasiun hujan yang kemudian disebut dengan data *training*.

Sedangkan validasi data tujuannya adalah untuk melihat seberapa besar akurasi dari data hujan satelit yang dapat menggambarkan curah hujan yang terjadi permukaan bumi (Noor dkk., 2016). Data yang digunakan untuk memvalidasi data hujan satelit diperoleh dari data stasiun hujan yang kemudian disebut dengan data *testing*. Metode validasi yang digunakan pada penelitian ini adalah metode *R-squared* ( $R^2$ ), *Root Mean Square Error* (RMSE), dan *Bias*. Persamaan validasi tersebut dapat dilihat pada Pers. (3) hingga Pers. (5) sebagai berikut,

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (P_{obs} - \sum P_{obs})(P_i - \sum P_i)]^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \sum O_i)^2 (P_i - \sum P_i)^2} \tag{3}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_{obs} - P_i)^2}{n}} \tag{4}$$

$$Bias = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{\sum_{i=1}^n O_i} \tag{5}$$

Dimana  $P_i$  adalah curah hujan IMERG terkalibrasi,  $P_{obs}$  merupakan curah hujan stasiun pengamatan, dan  $n$  adalah jumlah pengamatan.

#### Metode Penelitian

##### Alat Bantu Penelitian

Alat bantu utama yang digunakan dalam menganalisis curah hujan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut,

1. Grass GIS, digunakan untuk pengolahan dan analisis data peta,
2. QGIS, digunakan untuk visualisasi data peta,
3. GWR4, digunakan untuk melakukan proses regresi antara data curah hujan satelit dengan data *environment*,

4. Microsoft Excel, digunakan untuk menganalisis perhitungan curah hujan dan pembuatan tabulasi data.

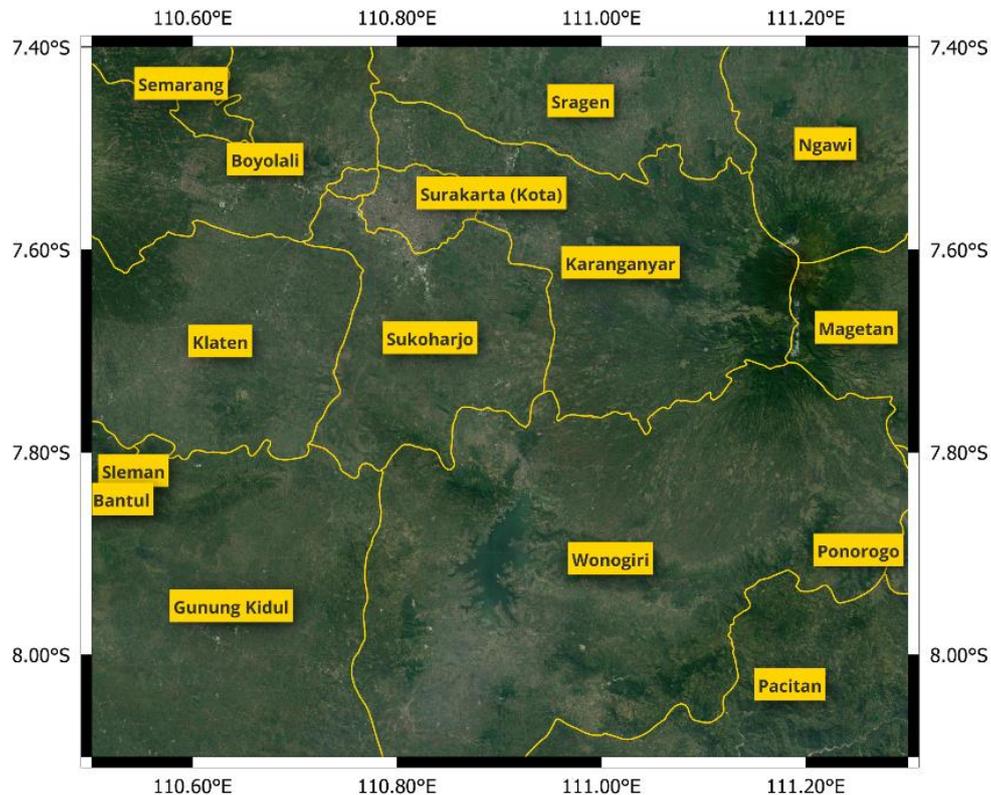
**Pengumpulan Data**

Sumber data yang digunakan dalam penelitian ini termasuk dalam kategori data sekunder. Data sekunder yang dihimpun dalam penelitian ini mencakup data hujan

tahun 2021 melalui citra satelit berupa IMERG, data NDVI, dan data curah hujan stasiun. Data IMERG dapat diperoleh

melalui situs GES DISC NASA yang resmi dan sah, NDVI juga dapat diunduh melalui situs MODIS NDVI NASA, kemudian data hujan stasiun diperoleh melalui institusi resmi pemerintah yaitu Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Bengawan Solo.

Pada penelitian ini area studi yang diuji mencakup daerah di sekitar Kabupaten/Kota Surakarta, Sukoharjo, Klaten, Karanganyar, Sragen, Gunung Kidul, Wonogiri, Boyolali, Magetan, dan sekitarnya yang ditunjukkan pada Gambar (1).



Gambar 1. Area studi

**Proses Downscaling Data IMERG**

Proses *downscaling* dilakukan untuk menurunkan skala atau memperbesar resolusi dari data IMERG (10 km × 10 km) agar memiliki resolusi yang sama dengan data *environment* berupa data NDVI (250 m × 250 m). Kedua parameter yang telah memiliki resolusi yang sama tersebut

kemudian dianalisis untuk mencari persamaan regresi dengan metode GWR. Langkah-langkah *downscaling* data IMERG adalah sebagai berikut,

1. *Upscaling temporal* terhadap data IMERG beresolusi 10 km × 10 km dalam harian menjadi IMERG beresolusi 10 km × 10 km dalam tahunan,

2. *Upscaling spasial* terhadap data *environment* berupa data NDVI beresolusi  $250\text{ m} \times 250\text{ m}$  dalam tahunan menjadi data NDVI beresolusi  $10\text{ km} \times 10\text{ km}$  dalam tahunan,
3. Membuat model regresi GWR pada *software* GWR4 dari hasil langkah pertama dan kedua dengan IMERG sebagai variabel dependen dan NDVI sebagai variabel independen,
4. Mendapatkan hujan perkiraan beresolusi  $10\text{ km} \times 10\text{ km}$  sebagai hasil dari model regresi GWR yang sudah dibuat pada langkah ketiga,
5. Menghitung hujan residu beresolusi  $10\text{ km} \times 10\text{ km}$  dengan mengurangi hujan perkiraan dengan data hujan IMERG beresolusi  $10\text{ km} \times 10\text{ km}$ ,
6. Melakukan interpolasi *spline* terhadap hujan residu sehingga diperoleh hujan residu beresolusi  $250\text{ m} \times 250\text{ m}$ ,
7. Menghitung hujan tak terkoreksi residu beresolusi  $250\text{ m} \times 250\text{ m}$  dengan memasukkan data *environment* beresolusi  $250\text{ m} \times 250\text{ m}$  ke dalam model regresi yang telah diperoleh pada langkah ketiga,
8. Menghitung hujan terkoreksi dengan cara menambahkan hasil hujan residu dengan hujan tak terkoreksi residu. Data hujan terkoreksi beresolusi  $250\text{ m} \times 250\text{ m}$  merupakan hasil dari *downscaling* data IMERG.

#### Penentuan Data Training dan Testing

Data *training* dan *testing* yang digunakan dalam penelitian ini adalah data curah hujan stasiun yang diperoleh melalui Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Bengawan Solo. Data *training* diperlukan untuk proses kalibrasi data IMERG dan data *testing* diperlukan untuk proses validasi data IMERG. Data curah hujan stasiun yang diperoleh memiliki rentang waktu 1 tahun pada tahun 2021 dan terdiri atas 16 pos stasiun hujan. Proses penentuan data *training* dan *testing* dari data curah hujan stasiun adalah sebagai berikut,

1. Mengurutkan 16 pos stasiun hujan dengan urutan rata-rata curah hujan tahunan terendah hingga tertinggi (stasiun 1 – stasiun 16),
2. Sembilan stasiun hujan dengan urutan stasiun 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, dan 16 digunakan sebagai data *training*,
3. Tujuh stasiun hujan dengan urutan 2, 4, 6, 8, 10, 12, dan 14 digunakan sebagai data *testing*.

#### Kalibrasi Data

Proses kalibrasi data IMERG dilakukan dengan menggunakan data hujan terkoreksi hasil dari *downscaling* IMERG dan data *training* curah hujan stasiun Metode yang digunakan dalam proses ini adalah *Geographical Differential Analysis* (GDA). Langkah-langkah untuk mengkalibrasi data IMERG adalah sebagai berikut,

1. Menghitung selisih hujan *error* titik dengan mengurangi data hujan terkoreksi hasil *downscaling* IMERG dengan data *training* hujan stasiun,
2. Melakukan interpolasi *Inverse Distance Weighting* (IDW) terhadap selisih hujan error untuk menghasilkan hujan error beresolusi  $250\text{ m} \times 250\text{ m}$ ,
3. Menghitung hujan terkalibrasi dengan menambahkan hujan *error* beresolusi  $10\text{ m} \times 10\text{ m}$  dengan estimasi hujan terkoreksi hasil *downscaling*. Hujan terkalibrasi merupakan hasil dari kalibrasi data IMERG.

#### Validasi Data

Proses validasi data IMERG dilakukan dengan menggunakan data hujan terkalibrasi yang akan divalidasi terhadap data *testing* curah hujan stasiun. Tujuan utama dari proses ini adalah untuk mengetahui keakuratan dari data hujan satelit yang telah dikalibrasi untuk menggambarkan curah hujan yang terjadi di permukaan bumi. Proses validasi dilakukan dengan metode *Root Mean Square Error* (RMSE), *R-Squared* ( $R^2$ ) untuk regresi linear, dan *Bias*.

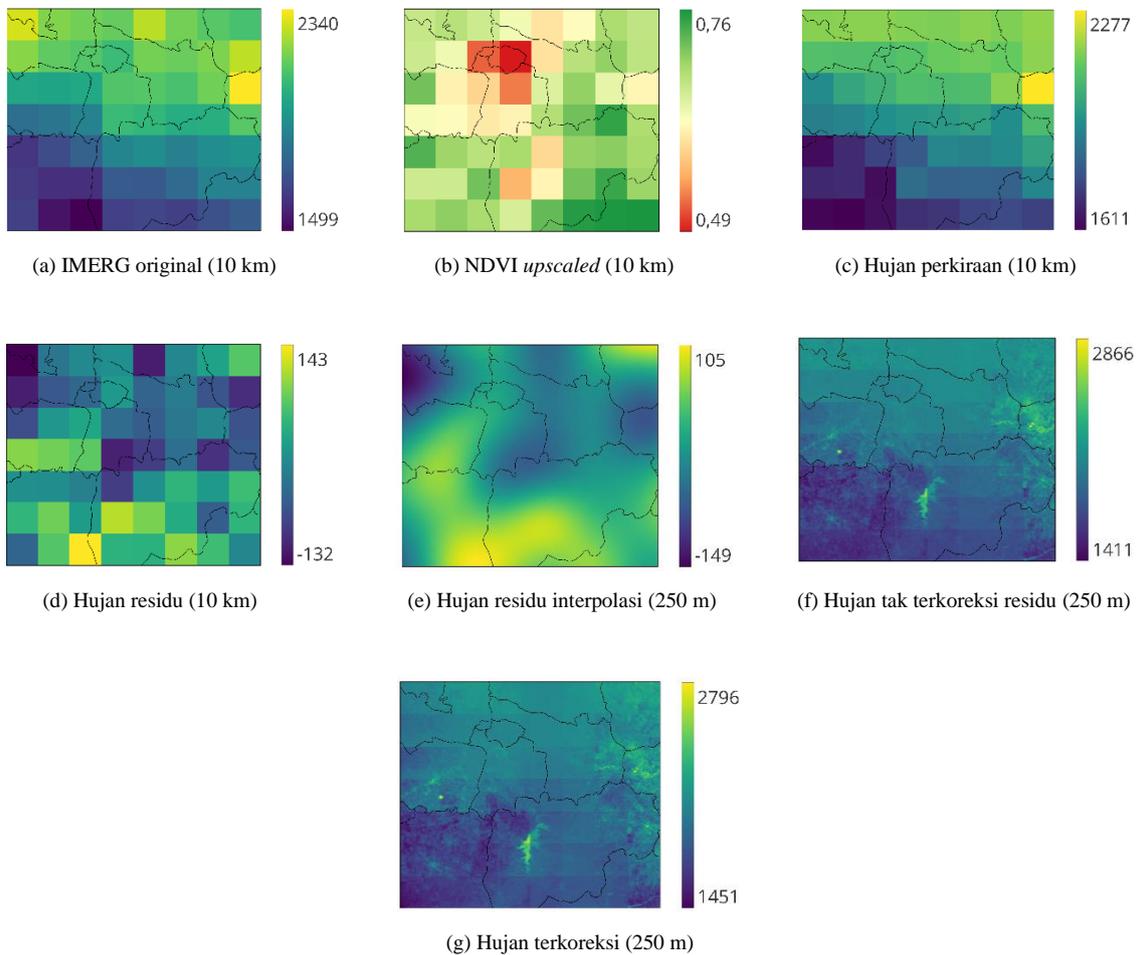
**Hasil dan Pembahasan**

**Pengolahan Data**

Peta data curah hujan IMERG dan NDVI yang telah diunduh melalui situs resmi NASA kemudian dapat diproses melalui software GRASS GIS. Melalui software tersebut dapat dilakukan analisis dan manajemen data geospasial seperti proses *upsampling* dan interpolasi seperti yang sudah dijelaskan pada bab sebelumnya.

**Hasil Downscaling Data IMERG**

Proses *downscaling* diawali dengan membuat model regresi berdasarkan metode GWR pada software GWR4. Hasil peta *upsampling* spasial MODIS NDVI 10 km tahunan dengan peta IMERG 10 km tahunan digunakan sebagai parameter utama dalam menghitung peta hujan perkiraan. Hasil akhir dari proses *downscaling* adalah hujan terkoreksi yang beresolusi 250 m x 250 m. Contoh proses *downscaling* dapat dilihat di Gambar (2) berikut.

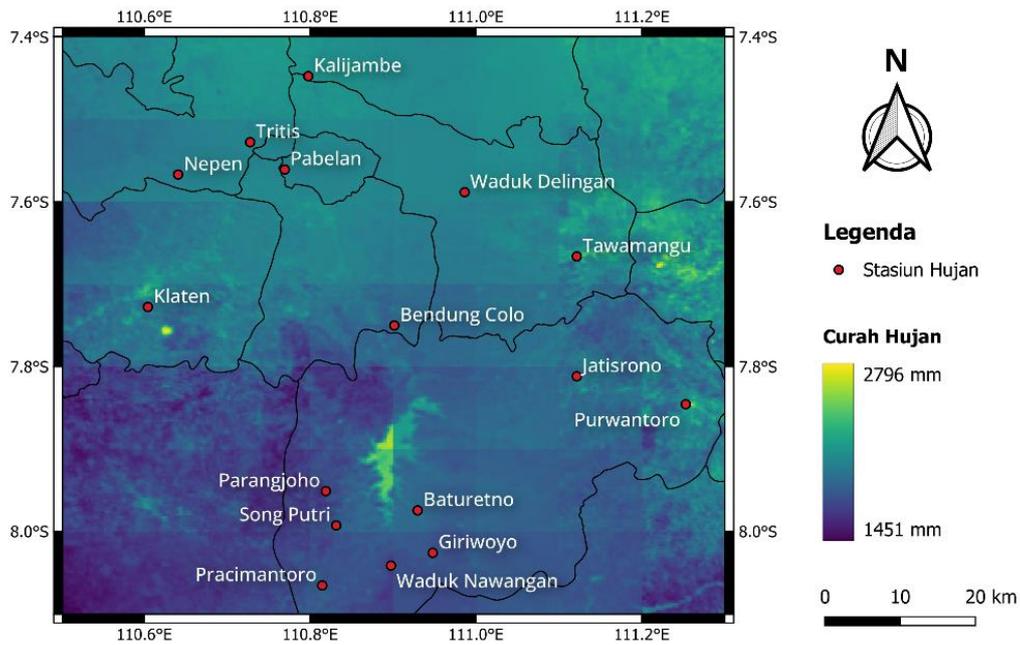


Gambar 2. Proses *downscaling* pada area studi tahun 2021

**Data Training dan Testing**

Data curah hujan stasiun yang diperoleh perlu diurutkan dari nilai terkecil hingga terbesar yang selanjutnya akan digunakan

sebagai data *training* dan data *testing*. Keenam belas lokasi stasiun hujan pada area studi dapat dilihat pada Gambar (3) di bawah. Untuk penentuan data *training* dan data *testing* dapat dilihat pada Tabel (1).



Gambar 3. Lokasi stasiun hujan pada peta hujan terkoreksi tahun 2021

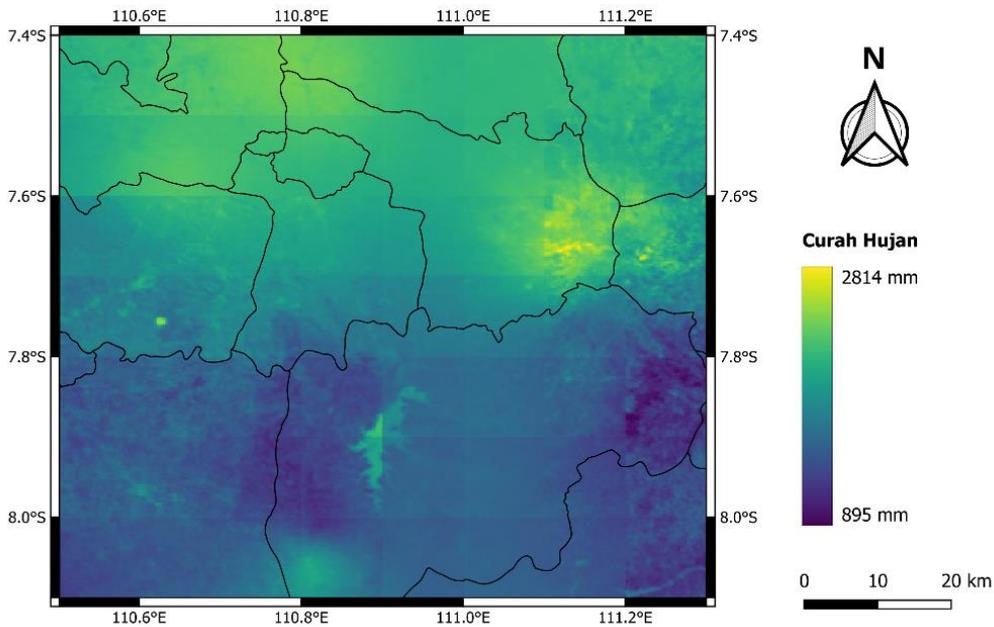
Tabel 1. Stasiun curah hujan tahun 2021

Urutan	Stasiun hujan	Koordinat latitude (°)	Koordinat longitude (°)	Curah hujan (mm/tahun)	Penentuan Data
1	Purwantoro	-7,846	111,253	1167	Training
2	Baturetno	-7,975	110,930	1231	Testing
3	Songputri	-7,993	110,832	1263	Training
4	Giriwoyo	-8,026	110,948	1330	Testing
5	Parangjoho	-7,951	110,819	1362	Training
6	Waduk Nawangan	-8,042	110,898	1400	Testing
7	Jatisrono	-7,812	111,122	1550	Training
8	Colo	-7,750	110,902	1633	Testing
9	Klaten	-7,728	110,604	1708	Training
10	Waduk Delingan	-7,588	110,987	1957	Testing
11	Pracimantoro	-8,066	110,815	2057	Training
12	Pabelan	-7,561	110,770	2226	Testing
13	Nepen	-7,567	110,641	2313	Training
14	Tritis	-7,528	110,728	2350	Testing
15	Kalijambe	-7,447	110,798	2395	Training
16	Tawamangu	-7,666	111,122	2797	Training

**Hasil Kalibrasi Data IMERG**

Proses kalibrasi dilakukan untuk mendapatkan nilai terbaik dari suatu model prediksi yang didapatkan dengan menggunakan pengukuran aktual yang ada di lapangan. Data *training* yang sudah ditentukan dengan menggunakan data curah

hujan stasiun digunakan untuk mengkalibrasi hasil *downscaling* model regresi berupa hujan terkoreksi. Hasil akhir yang didapatkan dari proses kalibrasi ini adalah hujan terkalibrasi dengan resolusi 250 m × 250 m seperti ditunjukkan pada Gambar (4).



Gambar 4. Hujan terkalibrasi (250 m) pada area studi tahun 2021

**Hasil Validasi Data IMERG**

Proses validasi dilakukan dengan membandingkan masing-masing data hujan IMERG *original*, IMERG *downscaled*, dan IMERG terkalibrasi dengan data *testing* yang sudah ditentukan. Hal ini ditujukan untuk melihat perkembangan data IMERG pada setiap proses baik sebelum maupun setelah dikalibrasi.

Nilai curah hujan yang terdapat pada peta hujan terkalibrasi 2021 beresolusi 250 m × 250 m sesuai dengan koordinat stasiun hujan data *testing* yang telah ditentukan kemudian dibandingkan untuk uji validasi. Urutan stasiun hujan pada data *testing* dimulai dari Stasiun Baturetno, Giriwoyo, Waduk Nawangan, Colo, Waduk Delingan, Pabelan, dan Tritis.

Metode validasi menggunakan metode *Root Mean Square Error* (RMSE), *Mean Absolute Error* (MAE), *R-Squared* ( $R^2$ ) untuk regresi linear, dan *Bias*. Data curah hujan dan hasil validasi yang dibandingkan dapat dilihat pada Tabel (2) hingga Tabel (5) berikut,

Tabel 2. Perbandingan curah hujan antara IMERG *original* dengan stasiun hujan

No	IMERG <i>original</i> (mm/tahun)	Stasiun hujan (mm/tahun)
1	1733,14	1231,00
2	1676,34	1330,00
3	1660,37	1400,00
4	2055,64	1633,00
5	2164,85	1957,00
6	2116,50	2226,00
7	2116,50	2350,00

Tabel 3. Perbandingan curah hujan antara IMERG *downscaled* dengan hujan stasiun

No	IMERG <i>downscaled</i> (mm/tahun)	Stasiun hujan (mm/tahun)
1	1911,77	1231,00
2	1816,90	1330,00
3	1715,43	1400,00
4	1957,25	1633,00
5	2075,32	1957,00
6	2070,18	2226,00
7	2081,47	2350,00

Tabel 4. Perbandingan curah hujan antara IMERG terkalibrasi dengan hujan stasiun

No	IMERG terkalibrasi (mm/tahun)	Stasiun hujan (mm/tahun)
1	1520,22	1231,00
2	1487,80	1330,00
3	1424,95	1400,00
4	1749,55	1633,00
5	2095,48	1957,00
6	2185,55	2226,00
7	2243,10	2350,00

Tabel 5. Perbandingan hasil validasi antara IMERG dengan hujan stasiun tahun 2021

Data IMERG	R <sup>2</sup>	RMSE (mm)	MAE (mm)	Bias
<i>Original</i>	0,76	322,54	297,48	0,12
<i>Downscaled</i>	0,69	380,89	335,72	0,12
<i>Terkalibrasi</i>	0,95	148,80	124,91	0,05

Koefisien determinasi (R<sup>2</sup>) menggambarkan sejauh mana variasi data IMERG yang telah dikalibrasi berkorelasi dengan data curah hujan stasiun. Semakin tinggi nilai R<sup>2</sup>, maka akan semakin baik korelasinya. Berdasarkan tabel, nilai R<sup>2</sup> untuk data IMERG terkalibrasi menunjukkan nilai yang sangat tinggi yaitu 0,95.

RMSE dan MAE mengukur tingkat kesalahan prediksi antara data IMERG terkalibrasi dan data curah hujan stasiun dalam satuan mm. Semakin rendah nilai RMSE dan MAE, maka semakin akurat prediksi data IMERG terkalibrasi. Dari tabel, terlihat bahwa nilai RMSE dan nilai MAE relatif rendah yaitu sebesar 148,80 mm dan 124,91 mm.

Bias menggambarkan kesalahan sistematis antara data IMERG terkalibrasi dan data

curah hujan stasiun. Pada tahun 2021, IMERG yang terkalibrasi memiliki nilai Bias sebesar 0,05. Bias yang mendekati nol menunjukkan bahwa data IMERG yang sudah terkalibrasi memiliki kemampuan yang baik dalam menyesuaikan hasilnya dengan data curah hujan stasiun.

### Kesimpulan

Hasil validasi menunjukkan adanya peningkatan kualitas dan akurasi data curah hujan IMERG setelah dilakukan proses kalibrasi. Secara umum, hasil validasi menunjukkan bahwa IMERG yang terkalibrasi memberikan hasil yang lebih akurat dibandingkan dengan IMERG asli dan hasil *downscaling*. Korelasi yang tinggi dan kesalahan prediksi yang rendah menunjukkan bahwa IMERG yang terkalibrasi cukup andal dan dapat menjadi alternatif data curah hujan yang baik untuk mewakili curah hujan sebenarnya yang terjadi di lapangan pada tahun 2021.

Namun, perlu diingat bahwa kesimpulan diatas hanya berdasarkan data validasi pada tahun 2021. Untuk kesimpulan yang lebih menyeluruh, perlu dilakukan analisis terhadap data validasi dari tahun-tahun lainnya juga. Oleh karenanya perlu dilakukan studi yang lebih mendalam lagi terkait penggunaan data hujan satelit IMERG sebagai salah satu alternatif data curah hujan stasiun.

### Daftar Pustaka

- Adnan, M. S., dkk. (2020). Performance Evaluation of IMERG Satellite-Based Rainfall Product over Peninsular Malaysia. *Water*, 12(8), 2309.
- Brown, A. B. (1998). *Title of the book* (3rd ed.). New York, NY: Free Press
- Ajadi, S. O., dkk. (2017). Evaluation of Rainfall Estimation Techniques for Water Resource Planning and Management in Nigeria. *International Journal of Water Resources and Environmental Engineering*, 9(4), 65-73.

- Akinremi, O. O., dkk. (2019). Evaluation of Satellite-Based Rainfall Products over the Prairie Pothole Region of Canada. *Remote Sensing*, 11(3), 341.
- Clement, Orange, et. al. (2009). Drivers of Afforestation in Northern Vietnam: Assessing Local Variations Using Geographically Weighted Regression. *International Journal of Applied Geography*. Vol. 29, Issue: 4, Pages: 561-576.
- Feyisa, G. L., dkk. (2014). Assessment of the Applicability of IMERG V03A and TRMM 3B42 V7 Satellite-Based Rainfall Products over the Central Rift Valley of Ethiopia. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 30, 69-83.
- Habib, E., dkk. (2017). Evaluation of the Latest GPM IMERG and Other Rainfall Products with In Situ Observations over the Tibetan Plateau. *Remote Sensing*, 9(6), 568.
- Huffman, G. J., dkk. (2015). Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM (IMERG) Technical Documentation. NASA/GSFC, Greenbelt, MD, USA.
- Jing, W., dkk. (2017). Reconstructing Satellite-Based Monthly Precipitation over Northeast China Using Machine Learning Algorithms. *Remote Sensing*, 9(8), 1-17.
- Khan, M. J. U., dkk. (2018). Evaluation of Satellite Rainfall Products for Hydrological Application in a Data-Scarce Region. *Journal of Hydrology*, 561, 946-963.
- Kumar, S. V., dkk. (2014). Advancing High Resolution Precipitation Products: GPM Ground Validation Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM (IMERG). GPM GV Workshop, Kobe, Japan.
- Naseem, A., dkk. (2018). Performance Assessment of GPM-IMERG Satellite-Based Rainfall Estimates over Mountainous Region of Pakistan. *Journal of Water and Climate Change*, 9(3), 600-613.
- Noor, R. A., dkk. (2016). Pemanfaatan Data Satelit Tropical Rainfall Measuring Mission (Trmm) Untuk Pemetaan Zona Agroklimat Oldeman Di Kalimantan Selatan. *EnviroScientee*, 12(3), 267.
- Rahman, M. S., dkk. (2016). Evaluation of TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA) and Its Utility in Hydrological Modelling of the Brahmaputra Basin. *Journal of Hydrology*, 535.
- Rouse J.W., dkk. (1973). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: *Proceedings of the Third ERTS Symposium, NASA SP-351 I*, pp. 309-317.
- Shen, Y., dkk. (2020). Downscaling Satellite Precipitation Using Geographically Weighted Regression: A Case Study in China. *Remote Sensing*, 12(7), 1162.
- Sutikno, S., Manyuk, F., & Dan, M. M. (2014). Kalibrasi Dan Validasi Model Hidrologi Hujan-Aliran Dengan Menggunakan Data Satelit. *Pertemuan Ilmiah Tahunan (PIT) HATHI XXXI*, 481-492.
- Sultana, N., dkk. (2019). Evaluation of Satellite-Based Rainfall Products for Hydrological Applications in Data-Scarce Regions. *Water*, 11(8), 1712.