

Komparasi Citra Satelit Hujan Resolusi Tinggi dalam Mengestimasi Curah Hujan Harian di Provinsi Papua Barat

Comparison of High-Resolution Rainfall Satellite Image in Estimating Daily Rainfall in West Papua

Arif Faisol^{1*}, Bertha Ollin Paga¹

¹ Jurusan Teknik Pertanian dan Biosistem, Universitas Papua
Jl. Gunung Salju amban, Manokwari 98314.

*Email: arif.unipa@gmail.com

Abstract

Rainfall is one of the main factors for floods and landslides. Therefore, accurate-long terms rainfall data is needed. Currently, rainfall data in West Papua is obtained from the Meteorology, Climatology, and Geophysics Agency climate station. However, it has not been able to represent rainfall data in West Papua. This research aimed to evaluate and compare the performance of Global Precipitation Measurement (GPM), Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM), and Climate Hazards Group Infrared Precipitation with Stations (CHIRPS) in estimating daily rainfall in West Papua. The main stage in this research is data inventory, data extraction, data selection, data evaluation, and data comparison. 5 years of daily rainfall (2015 – 2019) from GPM, TRMM, CHIRPS, and 3 climate stations i.e. Rendani – Manokwari, Torea – Fakfak, and Utarom – Kaimana were used in this research. The research showed that TRMM, GPM, and CHIRPS are very good in describing the spatial distribution of rainfall in West Papua. Therefore, TRMM, GPM, and CHIRPS are very good at detecting rainfall events. However, the statistical tests show that TRMM, GPM, and CHIRPS are less accurate in estimating daily rainfall in West Papua with significant differences compared to climate stations data. Therefore, it is still necessary to do further research using long terms rainfall data.

Keywords: *Global Precipitation Measurement (GPM), Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM), Climate Hazards Group Infrared Precipitation with Stations (CHIRPS), spatial*

Abstrak

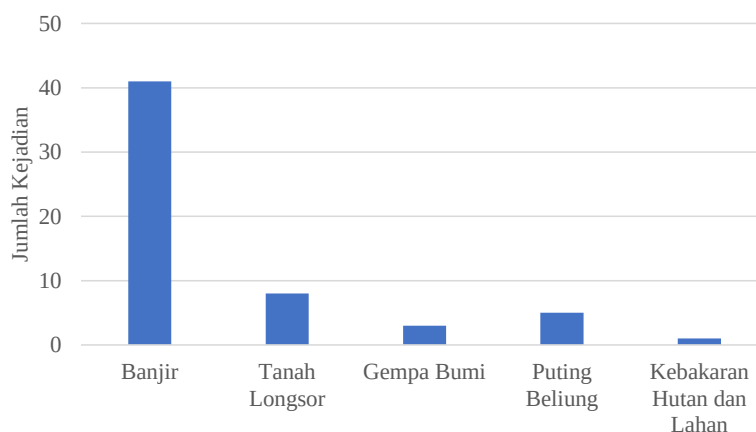
Hujan merupakan salah satu penyebab utama bencana banjir dan tanah longsor. Oleh sebab itu ketersediaan data hujan yang akurat dengan rentang data lebih dari 20 tahun sangat dibutuhkan. Saat ini data hujan di Provinsi Papua Barat diperoleh dari hasil pengamatan 7 (tujuh) stasiun iklim yang dikelola oleh Badan Meteorologi dan Geofisika (BMKG) yang tersebar di Provinsi Papua Barat, sehingga secara spasial belum mewakili data hujan di Provinsi Papua Barat. Disamping itu data yang tersedia pada umumnya kurang dari 20 tahun. Saat ini telah tersedia data hujan hasil pemantauan satelit dengan durasi perekaman lebih dari 20 tahun serta memiliki tingkat keterwakilan spasial yang tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dan mengkomparasi performa *Global Precipitation Measurement (GPM)*, *Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)*, dan *Climate Hazards Group Infrared Precipitation with Stations (CHIRPS)* dalam mengestimasi hujan harian di Provinsi Papua Barat. Penelitian ini terdiri atas 5 (lima) tahapan utama yaitu; inventarisasi data, ekstraksi data, seleksi data, evaluasi data, dan komparasi data. Data GPM, TRMM, CHIRPS, dan data hujan harian tahun 2015 – 2019 hasil pengamatan pada stasiun iklim Rendani – Kabupaten Manokwari, Torea – Kabupaten Fakfak, dan Utarom – Kabupaten Kaimana digunakan

pada penelitian ini. Hasil penelitian menunjukkan bahwa TRMM, GPM, dan CHIRPS sangat baik dalam menggambarkan distribusi hujan di Provinsi Papua Barat dengan tingkat keterwakilan spasial yang tinggi. Disamping itu TRMM, GPM, dan CHIRPS dapat mendeteksi hujan dengan baik. Namun, hasil uji statistik menunjukkan TRMM, GPM, dan CHIRPS kurang akurat dalam mengestimasi curah hujan harian di Provinsi Barat serta terdapat perbedaan yang signifikan dengan data hasil pengamatan pada stasiun iklim. Oleh sebab itu, masih perlu dilakukan penelitian lebih lanjut menggunakan rentang data yang lebih panjang.

Kata kunci: *Global Precipitation Measurement (GPM), Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM), Climate Hazards Group Infrared Precipitation with Stations (CHIRPS), spasial.*

PENDAHULUAN

Banjir dan tanah longsor merupakan salah satu bencana hidrometeorologi yang mendominasi kejadian bencana di Provinsi Papua Barat. Pada kurun 2010 – 2021 telah terjadi bencana banjir sebanyak 41 kejadian dan tanah longsor sebanyak 8 kejadian di Provinsi Papua Barat (Badan Nasional Penanggulangan Bencana, 2021). Kejadian bencana alam di Provinsi Papua Barat pada kurun 2010 – 2021 disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Jumlah kejadian bencana di Provinsi Papua Barat periode 2010 – 2021 (Badan Nasional Penanggulangan Bencana, 2021)

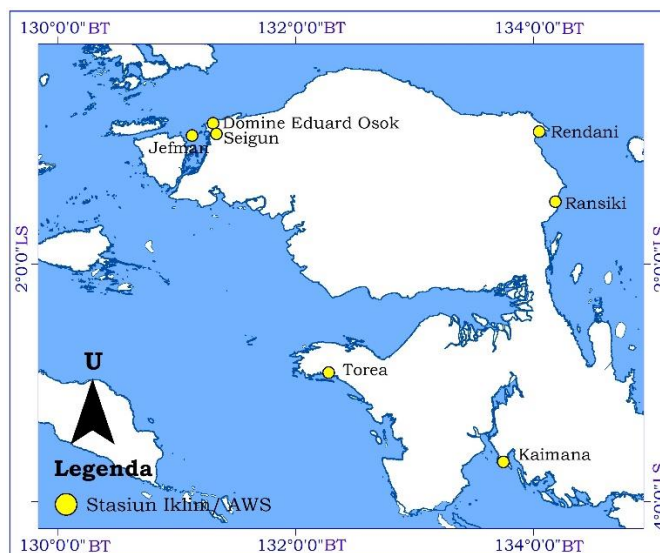
Hujan merupakan salah satu penyebab utama bencana banjir dan tanah longsor. Oleh sebab itu data hujan yang akurat dengan rentang waktu lebih dari 20 tahun (Badan Standardisasi Nasional, 2016) serta dapat mewakili wilayah yang sangat luas dibutuhkan untuk mengidentifikasi potensi bahaya banjir dan tanah longsor.

Data hujan di Provinsi Papua Barat diperoleh dari hasil pengamatan pada stasiun iklim yang dikelola oleh Badan Meteorologi dan Geofisika (BMKG). Saat ini terdapat 7 (tujuh)

stasiun iklim di Provinsi Papua Barat yang dikelola oleh BMKG dan tersebar di 7 (tujuh) Kabupaten/ Kota, yaitu; Kabupaten Manokwari, Kabupaten Sorong, Kota Sorong, Kabupaten Fakfak, Kabupaten Kaimana, Kabupaten Manokwari Selatan, dan Kabupaten Raja Ampat (BMKG, 2018). Sebaran stasiun iklim dan ketersediaan data hujan di Provinsi Papua Barat disajikan pada Tabel 1 dan Gambar 2.

Tabel 1. Ketersediaan data hujan pada stasiun iklim di Provinsi Papua Barat (Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, 2021)

No	Stasiun iklim	Lokasi (Kabupaten)	Periode pencatatan data hujan
1	Utarom	Kaimana	2014 – saat ini
2	Seigun	Sorong	1997 – saat ini
3	Torea	Fakfak	1996 – saat ini
4	Ransiki	Manokwari Selatan	2007 – saat ini
5	Rendani	Manokwari	1996 – saat ini
6	Domine Eduard Osok	Kota Sorong	1997 – saat ini
7	Jefman	Raja Ampat	1996 – saat ini



Gambar 2. Sebaran stasiun iklim di Provinsi Papua Barat

Data hujan yang diperoleh dari 7 (tujuh) stasiun iklim yang tersebar di Provinsi Papua Barat belum mewakili data hujan di Provinsi Papua Barat, karena data hujan yang diperoleh dari stasiun iklim hanya dapat digunakan untuk mewakili wilayah seluas 100 km² – 1000 km² (World Meteorological Organization, 2010). Disamping itu, sebagian data hujan yang diperoleh dari stasiun iklim memiliki rentang waktu kurang dari 20 tahun, sehingga menjadi kendala dalam melakukan identifikasi potensi bahaya banjir dan tanah longsor di Provinsi Papua Barat.

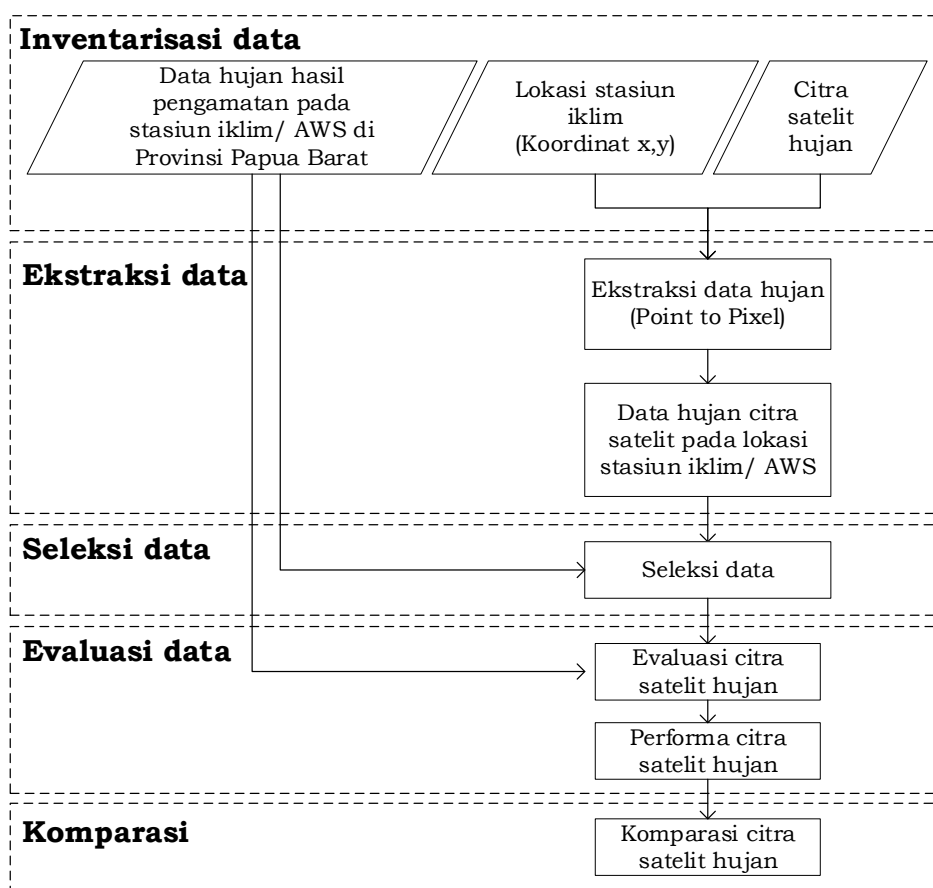
Saat ini telah tersedia data hujan hasil pemantauan satelit dengan durasi perekaman lebih dari 20 tahun serta memiliki tingkat keterwakilan spasial yang tinggi, diantaranya; *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM), *Global Precipitation Measurement* (GPM), *Climate Hazards Group Infrared Precipitation with Stations* (CHIRPS), *Global Rainfall Map* (GSMaP), *CICS High-Resolution Optimally Interpolated Microwave Precipitation from Satellites* (CHOMPS), dan *Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks - Climate Data Record* (PERSIANN-CDR) (National Center for Atmospheric Research Staff, 2020). Data hujan hasil pengamatan satelit tersebut telah dikalibrasi dengan data hujan hasil pengamatan pada stasiun hujan yang ada di bumi untuk meminimalkan terjadinya *error* atau bias. Sehingga data ini dapat digunakan sebagai solusi alternatif untuk menyediakan data hujan di Provinsi Papua Barat, khususnya pada wilayah-wilayah yang belum memiliki stasiun hujan maupun stasiun iklim.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dan mengkomparasi performa GPM, TRMM, dan CHIRPS dalam mengestimasi hujan harian di Provinsi Papua Barat agar dapat digunakan sebagai solusi alternatif dalam penyediaan data hujan di Provinsi Papua Barat. Pemilihan data GPM, TRMM, dan CHIRPS dalam penelitian ini disebabkan data-data tersebut memiliki resolusi temporal dan resolusi spasial yang lebih baik dibandingkan data yang lainnya, sehingga akan dapat menggambarkan distribusi hujan lebih baik. Selanjutnya data ini dapat digunakan untuk mengidentifikasi potensi bahaya banjir dan tanah longsor di Provinsi Papua Barat.

METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan pada bulan Juni sampai Agustus 2021. Penelitian ini terdiri atas 5 (lima) tahapan utama, yaitu; (1) inventarisasi data yang bertujuan untuk mengumpulkan data GPM, TRMM, CHIRPS, dan data hujan harian tahun 2015 – 2019 hasil pengamatan pada stasiun iklim Rendani, Torea, dan Utarom, (2) ekstraksi data yang bertujuan untuk mengekstrak data hujan GPM, TRMM, dan CHIRPS berdasarkan lokasi stasiun iklim menggunakan metode *point to pixel*, (3) seleksi data yang bertujuan untuk membuang data yang kosong, (4) evaluasi data yang bertujuan untuk membandingkan data GPM, TRMM, dan CHIRPS dengan data hasil pengamatan pada stasiun iklim, (5) komparasi data yang bertujuan untuk membandingkan performa GPM, TRMM, dan CHIRPS dalam

mengestimasi hujan harian di Provinsi Papua Barat. Diagram alir penelitian disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram alir penelitian

Evaluasi GPM, TRMM, dan CHIRPS dilakukan menggunakan 6 (enam) parameter statistik, yaitu; *root mean square error* (RMSE), *relative bias* (RBIAS), *Pearson correlation coefficient* (r), uji T berpasangan (ts), *probability of detection* (POD), dan *critical success index* (CSI). Parameter tersebut dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$RMSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2 \dots\dots\dots (1)$$

$$RBIAS = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - x_i)}{\sum_{i=1}^n x_i} \dots\dots\dots (2)$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})(x_i - \bar{x})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}} \dots\dots\dots (3)$$

$$ts = \frac{|\bar{x}_2 - \bar{x}_1|}{\sqrt{\frac{(n_1-1)s_1^2 + (n_2-1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}} \dots\dots\dots (4)$$

$$POD = \left(\frac{H}{H+M} \right) \dots\dots\dots (5)$$

$$CSI = \left(\frac{H}{H+M+F} \right) \dots\dots\dots (6)$$

Keterangan: y_i adalah data hujan citra satelit pada waktu ke-i (mm) ; $\bar{y}$ adalah data hujan rata-rata citra satelit pada periode tertentu (mm) ; x_i adalah data hujan hasil pengamatan pada stasiun iklim pada waktu ke-i (mm) ; $\bar{x}$ adalah data hujan rata-rata hasil pengamatan pada stasiun iklim (mm); n adalah jumlah data; $\bar{x}_1$ adalah nilai suhu udara rerata kelompok 1 ; $\bar{x}_2$ adalah nilai suhu udara rerata kelompok 2 ; S_1 adalah nilai variansi kelompok 1; S_2 adalah nilai variansi kelompok 2; n_1 adalah banyaknya data kelompok 1; dan n_2 adalah banyaknya data kelompok 2; H adalah banyaknya kejadian hujan yang terdeteksi oleh citra satelit dan stasiun iklim; M adalah banyaknya kejadian hujan yang terdeteksi oleh stasiun iklim namun tidak terdeteksi oleh citra satelit; dan F adalah banyak kejadian hujan yang terdeteksi oleh citra satelit namun tidak terdeteksi oleh stasiun iklim.

Nilai terbaik dari RMSE dan RBIAS adalah 0, dan nilai terbaik r adalah 1. (Omranian dkk., 2018; Saeidizand dkk., 2018; Lelis dkk., 2018; Wang dkk., 2017; Javier dkk., 2016). Sedangkan nilai terbaik dari $POD = 1$ dan $CSI = 1$ (Sungmin dkk., 2017; Wang dkk., 2017; Javier dkk., 2016; Meyer dkk., 2017; Wei dkk., 2018; Prakash dkk., 2017).

Dalam menentukan kejadian hujan pada citra satelit dan stasiun iklim/ AWS digunakan ambang batas 0,5 mm (Sungmin dkk., 2017; Wei dkk., 2018). Tabel 2 menyajikan kontingensi untuk mengevaluasi kejadian hujan.

Tabel 2. Tabel kontingensi kejadian hujan

	Citra Satelit	Hujan (curah hujan $\geq 0,5$ mm)	Tidak hujan (curah hujan $< 0,5$ mm)
Stasiun Iklim			
Hujan (curah hujan $\geq 0,5$ mm)		Hits (H)	Misses (M)
Tidak hujan (curah hujan $< 0,5$ mm)		False alarms (F)	Correct negatives

Tingkat keeratan hubungan (r) antara citra satelit dan data hasil pengamatan pada stasiun iklim disajikan pada Tabel 3, dan tingkat akurasi RBIAS disajikan pada Tabel 4. Sedangkan uji T dilakukan pada tingkat signifikansi (*level of significance*) sebesar 5% atau $\alpha = 0,05$. Jika nilai uji T (T_{hitung}) > nilai kritis (T_{tabel}) maka terdapat perbedaan yang signifikan

antara citra satelit dan data stasiun iklim. Namun, jika nilai uji T (T_{hitung}) < nilai kritis (T_{tabel}) maka tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara citra satelit dan data stasiun iklim.

Tabel 3. Tingkat hubungan antara data hasil estimasi dan observasi (Azka dkk., 2018)

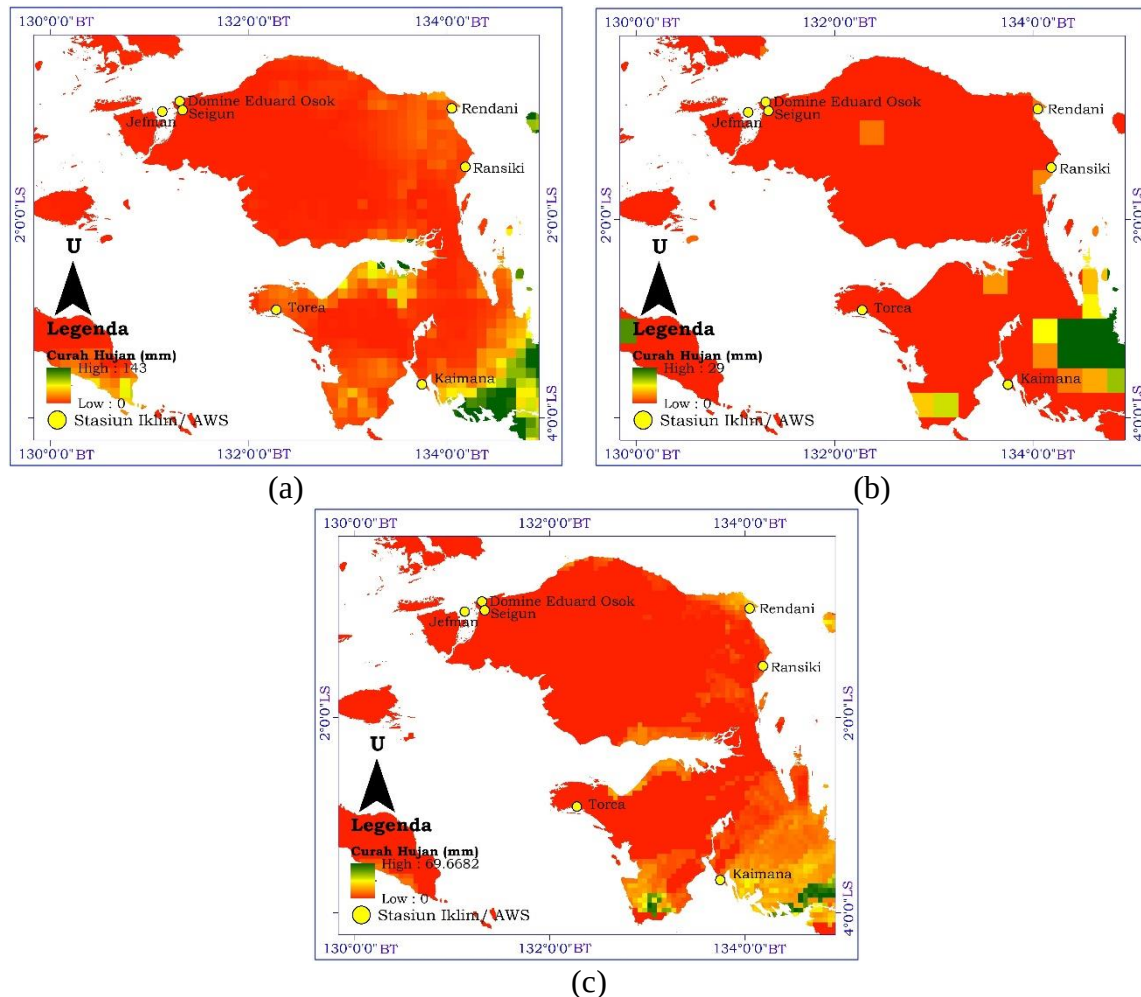
Interval Koefisien	Tingkat Hubungan
0,00 – 0,199	Sangat lemah
0,20 – 0,399	Lemah
0,40 – 0,599	Sedang
0,60 – 0,799	Kuat
0,80 – 1,000	Sangat kuat

Tabel 4. Tingkat akurasi RBIAS (Moriassi dkk., 2007)

RBIAS	Tingkat akurasi
< 0,10	Sangat akurat
0,10 – 0,15	Akurat
0,15 – 0,25	Cukup akurat
> 0,25	Kurang akurat

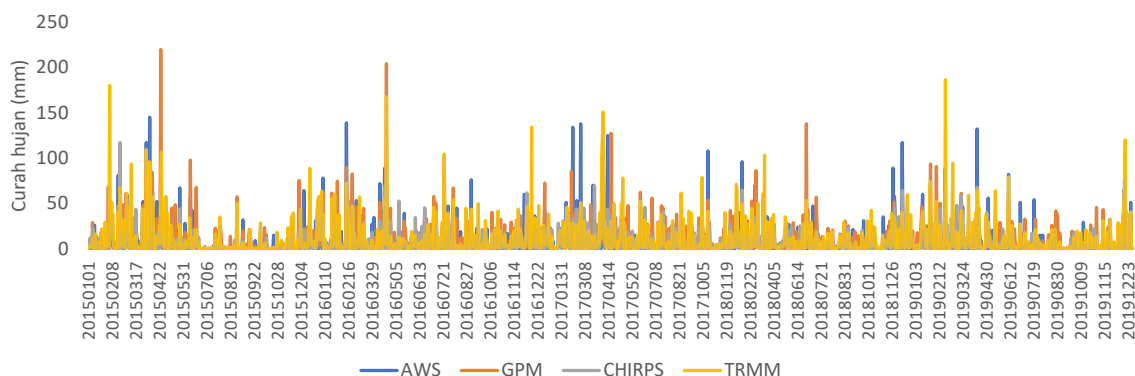
HASIL DAN PEMBAHASAN

GPM, TRMM, dan CHIRPS dapat menggambarkan distribusi hujan di seluruh wilayah di Provinsi Papua Barat dengan sangat baik. Namun distribusi hujan yang dihasilkan oleh CHIRPS lebih detail dibandingkan GPM dan TRMM. Hal ini disebabkan CHIRPS memiliki resolusi spasial ≈ 5 km (Funk dkk., 2014), GPM memiliki resolusi spasial ≈ 10 km (Goddard Space Flight Center, 2013), dan TRMM memiliki resolusi spasial ≈ 25 km (National Center for Atmospheric Research Staff, 2020). Komparasi distribusi spasial data hujan di Provinsi Papua Barat hasil estimasi GPM, TRMM, dan CHIRPS perekaman 31 Desember 2019 disajikan pada Gambar 4.

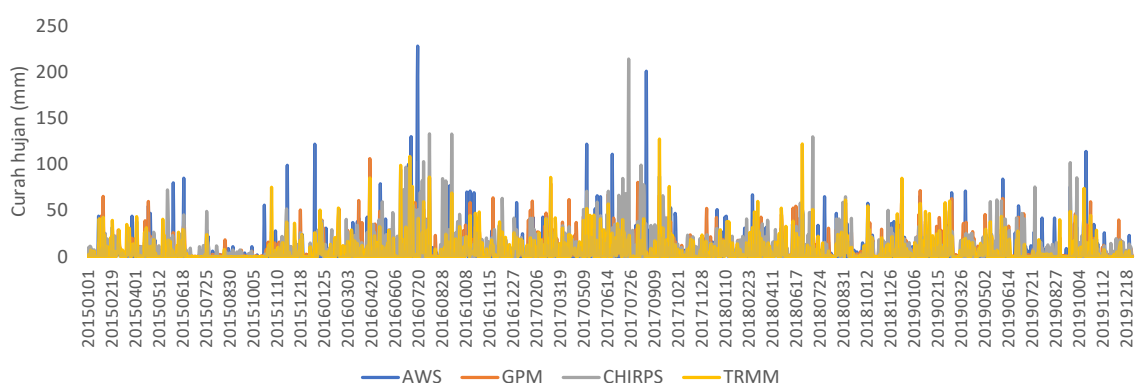


Gambar 4. Distribusi spasial data hujan di Provinsi Papua Barat perekaman 31 Desember 2019: (a) GPM, (b) TRMM, (c) CHIRPS

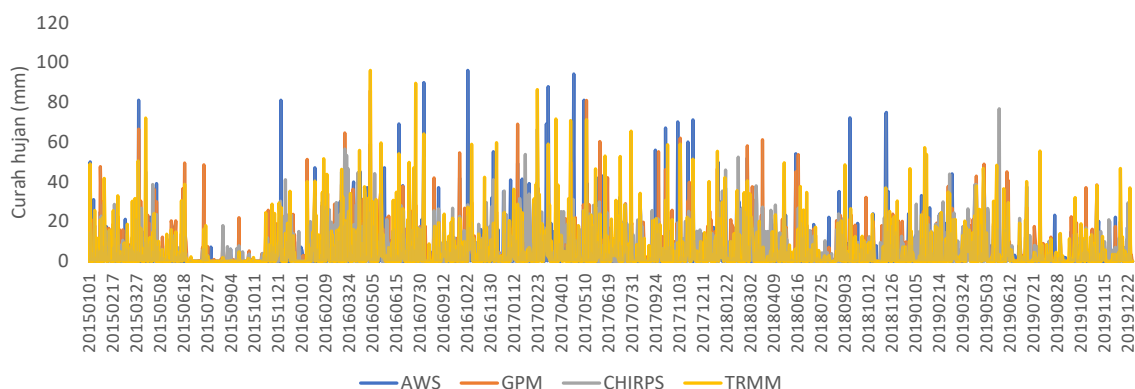
Pada umumnya data hujan harian TRMM, GPM, dan CHIRPS cenderung *overestimated* dalam mengestimasi curah hujan harian di Provinsi Papua Barat dibanding data hasil pengamatan pada stasiun iklim. Komparasi antara data hujan TRMM, GPM, CHIRPS, dan data hasil pengamatan pada stasiun iklim tahun 2015 – 2019 disajikan pada Gambar 5 – Gambar 7.



Gambar 5. Grafik perbandingan data curah hujan harian TRMM, GPM, CHIRPS dan data hasil pengamatan pada stasiun iklim Rendani – Kabupaten Manokwari perekaman 2015 – 2019



Gambar 6. Grafik perbandingan data curah hujan harian TRMM, GPM, CHIRPS dan data hasil pengamatan pada stasiun iklim Torea – Kabupaten Fakfak perekaman 2015 – 2019



Gambar 7. Grafik perbandingan data curah hujan harian TRMM, GPM, CHIRPS dan data hasil pengamatan pada stasiun iklim Utarom – Kabupaten Kaimana perekaman 2015 – 2019

Disamping *overestimated*, data TRMM, GPM, dan CHIRPS kurang akurat dalam mengestimasi curah hujan harian di Provinsi Papua Barat yang ditunjukkan dengan nilai $RBIAS > 0,25$ serta nilai $RMSE > 14$ mm. Data TRMM, GPM, dan CHIRPS memiliki korelasi yang lemah hingga sedang terhadap data hasil pengamatan pada stasiun iklim/ AWS. Namun TRMM, GPM, dan CHIRPS dapat mendeteksi hujan dengan baik, yang ditandai dengan nilai POD dan CSI yang cukup tinggi. Hasil uji statistik data TRMM, GPM, dan CHIRPS disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil uji statistik data hujan harian TRMM, GPM, dan CHIRPS dibanding data stasiun iklim.

Indeks	Stasiun iklim Rendani - Kabupaten Manokwari			Stasiun iklim Torea – Kabupaten Fakfak			Stasiun iklim Utarom – Kabupaten Kaimana			Rata-rata		
	GPM	CHIRPS	TRMM	GPM	CHIRPS	TRMM	GPM	CHIRPS	TRMM	GPM	CHIRPS	TRMM
RMSE	15,95	13,78	17,32	15,71	20,05	17,01	10,65	11,72	12,57	14,10	15,18	15,64
RBIAS	0,56	0,14	0,53	0,35	0,53	0,01	0,61	0,50	0,37	0,51	0,39	0,30
r	0,55	0,54	0,49	0,43	0,27	0,34	0,52	0,37	0,40	0,50	0,39	0,41
POD	0,90	0,69	0,94	0,97	0,68	0,67	0,94	0,69	0,67	0,94	0,69	0,76
CSI	0,55	0,50	0,49	0,53	0,47	0,52	0,46	0,44	0,45	0,51	0,47	0,48

Berdasarkan hasil uji statistik yang disajikan pada Tabel 5, TRMM memiliki akurasi yang lebih baik dibandingkan GPM dan CHIRPS dalam mengestimasi curah hujan harian di Provinsi Papua Barat yang diindikasikan dengan nilai RBIAS yang rendah. Namun data GPM lebih akurat dalam mendeteksi hujan dibandingkan CHIRPS dan TRMM yang diindikasikan dengan nilai POD dan CSI yang tinggi. Disamping itu data hujan harian GPM memiliki korelasi yang lebih baik terhadap data hasil pengamatan pada stasiun iklim/ AWS dibandingkan CHIRPS dan TRMM.

Data TRMM, GPM, dan CHIRPS memiliki perbedaan yang signifikan terhadap data AWS. Hasil uji T berpasangan data TRMM, GPM, CHIRPS dan data AWS pada tingkat signifikansi sebesar 5% disajikan pada Tabel 6 sampai Tabel 8.

Tabel 6. Hasil uji T berpasangan antara TRMM, GPM, CHIRPS dan data hujan hasil pengamatan pada stasiun iklim Rendani – Kabupaten Manokwari

Parameter	GPM	CHIRPS	TRMM
Jumlah data	1592	1592	1592
α	0,05	0,05	0,05
Rata-rata stasiun iklim	6,21	6,21	6,21
Rata-rata citra satelit	9,71	7,10	9,48
Standar deviasi stasiun iklim	15,88	15,88	15,88
Standar deviasi citra satelit	16,78	11,67	17,62
T-tabel	1,65	1,65	1,65
T-hitung	8,96	2,59	7,66
Kesimpulan	Berbeda signifikan	Berbeda signifikan	Berbeda signifikan

Tabel 7. Hasil uji T berpasangan antara TRMM, GPM, CHIRPS dan data hujan hasil pengamatan pada stasiun iklim Torea – Kabupaten Fakfak

Parameter	GPM	CHIRPS	TRMM
Jumlah data	1595	1595	1595
α	0,05	0,05	0,05
Rata-rata stasiun iklim	6,53	6,53	6,53
Rata-rata citra satelit	8,84	9,99	6,47
Standar deviasi stasiun iklim	16,26	16,26	16,26
Standar deviasi citra satelit	12,28	16,37	12,86
T-tabel	1,65	1,65	1,65
T-hitung	5,94	7,00	0,12
Kesimpulan	Berbeda signifikan	Berbeda signifikan	Tidak berbeda signifikan

Tabel 8. Hasil uji T berpasangan antara TRMM, GPM, CHIRPS dan data hujan hasil pengamatan pada stasiun iklim Utarom – Kabupaten Kaimana

Parameter	GPM	CHIRPS	TRMM
Jumlah data	1637	1637	1637
α	0,05	0,05	0,05
Rata-rata stasiun iklim	4,38	4,38	4,38
Rata-rata citra satelit	7,07	6,56	6,00
Standar deviasi stasiun iklim	11,09	11,09	11,09
Standar deviasi citra satelit	9,93	9,24	11,67
T-tabel	1,65	1,65	1,65
T-hitung	10,54	7,65	5,24
Kesimpulan	Berbeda signifikan	Berbeda signifikan	Berbeda signifikan

KESIMPULAN

Citra satelit TRMM, GPM, dan CHIRPS sangat baik dalam menggambarkan distribusi hujan di Provinsi Papua Barat dengan tingkat keterwakilan spasial yang tinggi. Disamping itu TRMM, GPM, dan CHIRPS dapat mendeteksi hujan dengan baik. Namun, hasil uji statistik menunjukkan TRMM, GPM, dan CHIRPS kurang akurat dalam mengestimasi curah hujan harian di Provinsi Barat serta terdapat perbedaan yang signifikan dengan data hasil pengamatan pada stasiun iklim/ AWS. Hal ini disebabkan TRMM dan GPM melakukan perekaman data hujan setiap 2 – 4 jam perhari, CHIRPS melakukan perekaman data hujan setiap 24 jam perhari, dan AWS melakukan perekaman hujan sepanjang waktu. Oleh sebab itu perlu dilakukan pengujian lebih lanjut dengan rentang data yang lebih Panjang, misalnya 20 tahun.

DAFTAR PUSTAKA

- Azka, M. A. dkk., (2018), ‘Uji Akurasi Produk Estimasi Curah Hujan Satelit GPM IMERG di Surabaya, Indonesia’, *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, 19(2), pp. 83–88.
- Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, (2021), *Ketersediaan Data*. Available at: http://dataonline.bmkg.go.id/akses_data.
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana, (2021), *Geoportal Data Bencana Indonesia*. Available at: <https://gis.bnpb.go.id/>.
- Badan Standardisasi Nasional, (2016), *SNI 2415: 2016 - Tata Cara Perhitungan Debit Banjir Rencana*. Jakarta.
- BMKG, (2018), *Metadata Stasiun*. Available at: https://dataonline.bmkg.go.id/mcstation_metadata (Accessed: 7 November 2018).
- Funk, C. C. dkk., (2014), *A Quasi-Global Precipitation Time Series for Drought Monitoring*. 1st edn. Virginia.
- Goddard Space Flight Center, (2013), *Global Precipitation Measurement (GPM) Science Implementation Plan*. Greenbelt: NASA.
- Lelis, L. C., Bosquilia, R. W. D. and Duarte, S. N., (2018), ‘Assessment of Precipitation Data Generated by GPM and TRMM Satellites’, *Revista Brasileira de Meteorologia*, 33(1), pp. 153–163.
- Meyer, H., Dröner, J. and Nauss, T., (2017), ‘Satellite-based High-Resolution Mapping of Rainfall over Southern Africa’, *Atmospheric Measurement Techniques*, 10, pp. 2009–2019.

- Moriasi, D. N. dkk., (2007), 'Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulation', *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 50(3), pp. 885–900.
- National Center for Atmospheric Research Staff, (2020), *The Climate Data Guide: Precipitation Data Sets: Overview & Comparison table*, Agustus. Available at: <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/precipitation-data-sets-overview-comparison-table> (Accessed: 30 September 2020).
- Omranian, E., Sharif, H. O. and Tvakoly, A. A., (2018), 'How Well Can Global Precipitation Measurement (GPM) Capture Hurricanes ? Case Study : Hurricane Harvey', *Remote Sensing*, p. 14. doi: 10.3390/rs10071150.
- Ott, R. L. and Longnecker, M., (2016), *An Introduction to Statistical Methods & Data Analysis*. 7th edn. Boston: Cengage Learning.
- Prakash, S. dkk. (2017) 'How Accurate are Satellite Estimates of Precipitation over The North Indian Ocean ?', *Theoretical and Applied Climatology*. Theoretical and Applied Climatology, p. 9 p. doi: <https://doi.org/10.1007/s00704-017-2287-2>.
- Randolph, K. A. and Myers, L. L. (2013) *Basic Statistics in Multivariate Analysis*. 1st edn, *Basic Statistics in Multivariate Analysis*. 1st edn. New York: Oxford University Press. doi: 10.1093/acprof:oso/9780199764044.001.0001.
- Saeidizand, R. dkk. (2018) 'Evaluation of CHIRPS Rainfall Estimates over Iran', *Advances in Remote Sensing pf Rainfall and Snowfall*, 144(May), pp. 282–291. doi: 10.1002/qj.3342.
- Sungmin, O. dkk. (2017) 'Evaluation of GPM IMERG Early , Late , and Final rainfall estimates using WegenerNet gauge data in southeastern Austria', *Hydrology and Earth System Science*, 21, pp. 6559–6572.
- Trejo, F. J. P. dkk. (2016) 'Intercomparison of Improved Satellite Rainfall Estimation with CHIRPS Gridded Product and Rain Gauge Data over Venezuela', *Atmósfera*. Elsevier, 29(4), pp. 323–342. doi: 10.20937/ATM.2016.29.04.04.
- Wang, Z. dkk. (2017) 'Evaluation of The GPM IMERG Satellite-based Precipitation Products and The Hydrological Utility', *Atmospheric Research*. Elsevier, 196(June), pp. 151–163. doi: 10.1016/j.atmosres.2017.06.020.
- Wei, G. dkk. (2018) 'TMPA Precipitation Products with Gauged Rainfall over Mainland China', *Advances in Meteorology*, 2018(4), p. 18 p.
- World Meteorological Organization (2010) *Commission for Instruments and Methods of*

Observation (WMO-No. 1064), Fifteenth session - Abridged final report with resolutions and recommendations. Available at:

http://www.wmo.int/pages/prog/www/CIMO/CIMO15-WMO1064/1064_en.pdf.