

KOMPARASI ANTARA *CLIMATE HAZARDS GROUP INFRARED PRECIPITATION WITH STATIONS (CHIRPS)* DAN *GLOBAL PRECIPITATION MEASUREMENT (GPM)* DALAM MEMBANGKITKAN INFORMASI CURAH HUJAN HARIAN DI PROVINSI JAWA TIMUR

Arif Faisol¹, Indarto Indarto², Elida Novita², dan Budiyo Budiyo³

¹ Prodi Teknik Pertanian dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Papua

² Prodi Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Jember

³ Prodi D3 Budidaya Tanaman Perkebunan, Fakultas Pertanian, Universitas Papua

Email: arif.unipa@gmail.com

ABSTRAK

Climate Hazard Group Infrared Precipitation with Station (CHIRPS) dan *Global Precipitation Measurement (GPM)* merupakan pengamat curah hujan berbasis satelit. CHIRPS dan GPM menyediakan data hujan harian serta digunakan secara luas pada berbagai bidang, diantaranya pertanian hidrologi, dan lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan performa CHIRPS dan GPM dalam membangkitkan informasi curah hujan harian di Jawa Timur. Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data hujan harian CHIRPS versi 2.0, GPM versi 6.0, dan *automatic weather station (AWS)* perekaman tahun 2015 – 2019. Pengujian yang dilakukan adalah uji presisi dan akurasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa CHIRPS versi 2.0 lebih presisi serta lebih akurat dari GPM versi 6.0 dalam membangkitkan informasi curah hujan harian di Jawa Timur. Namun GPM versi 6.0 lebih akurat dalam mendeteksi hujan serta memiliki korelasi yang lebih baik terhadap data hujan lokal (AWS).

Kata kunci – CHIRPS; GPM; pengamat curah hujan berbasis satelit; performa

PENDAHULUAN

Curah hujan merupakan salah satu parameter iklim yang digunakan secara luas pada bidang pertanian, hidrologi, dan lingkungan. Sebagai contoh, data curah hujan digunakan untuk memprediksi dan monitoring kekeringan (Karavitis, Alexandris, Tsesmelis, & Athanasopoulos, 2011; Zhu *et al.*, 2019; Das, Choudhury, Gandhi, & Joshi, 2016; Mishra & Nagarajan, 2011; Nosrati & Zareiee, 2011), banjir (Vieux & Bedient, 1998; Orupabo, Hart, & Okwere, 2015; Duncan, Chen, Keedwell, Djordjević, & Savić, 2012; Winter *et al.*, 2019), perencanaan jaringan irigasi (Hydrology Subcommittee, 1982; Dirjen Sumber Daya Air, 2013), manajemen sumberdaya air (Biao & Alamou, 2018; Messakh, Sabar, Hadihardadja, & Duppe, 2013; Barua, Muttil, Ng, & Perera, 2013), kajian erosi (Faisol & Indarto, 2010), dan sebagainya. Pada umumnya curah hujan diukur menggunakan *rain gauge* atau dikenal dengan pluviometer, ombrometer, dan hygrometer. Metode ini hanya menghasilkan informasi hujan berupa titik (*point measurement*) dengan tingkat keterwakilan spasial yang rendah.

Saat ini telah tersedia data curah hujan hasil pengamatan satelit. Data-data ini dapat dijadikan sebagai solusi alternatif untuk mendapatkan data hujan dengan tingkat keterwakilan spasial yang cukup tinggi. Disamping itu, data-data tersebut telah dikalibrasi dengan stasiun pengamat hujan yang ada di bumi untuk meminimalkan terjadinya error atau bias. Beberapa contoh data hujan hasil perekaman satelit yang dapat diakses antara lain; *Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)*, *Climate Hazards Group Infrared Precipitation with Stations (CHIRPS)*, *Global Precipitation Measurement (GPM)*, *Global Rainfall Map (GSMaP)*, *CPC Morphing Technique (CMORPH)*, *CICS High-Resolution Optimally Interpolated Microwave Precipitation from Satellites (CHOMPS)*, *Daily Surface Weather and Climatological Summaries (Daymet)*, *Global Precipitation Climatology Centre (GPCC)*, *Global Precipitation Climatology Project (GPCP)*, *Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks - Climate Data Record (PERSIANN-CDR)*, *Asian Precipitation - Highly-Resolved Observational Data Integration Towards Evaluation (APHRODITES)*, dan *The Climatologies at high resolution for the Earth's land surface (CELSA)*.

CHIRPS merupakan data hujan global yang mengkombinasikan antara pengamatan satelit, pengamatan stasiun hujan yang ada di bumi, prediktor curah hujan yang terdiri atas ketinggian dan letak geografis wilayah (Funk *et al.*, 2014). CHIRPS menyediakan data hujan harian, 5 harian, 10

harian, bulanan, 2 bulanan, 3 bulanan, dengan durasi perekaman sejak tahun 1981 hingga saat ini pada resolusi spasial 5 km. Gebrechorkos *et al* dan Dinku *et al* melaporkan bahwa CHIRPS sangat akurat dalam membangkitkan informasi curah hujan di Afrika Timur dibandingkan dengan data hasil pengamatan pada stasiun hujan (Gebrechorkos, Hülsmann, & Bernhofer, 2018; Dinku *et al.*, 2018).

GPM merupakan pengamat curah hujan berbasis satelit yang memiliki kemampuan melakukan perekaman data hujan diseluruh dunia setiap 2 – 4 jam perhari dengan durasi perekaman sejak tahun 2014 hingga saat ini serta memiliki resolusi spasial 10 km (Goddard Space Flight Center, 2013). Sejumlah penelitian didunia menunjukkan bahwa data hujan GPM memiliki akurasi yang cukup baik dibanding data hujan hasil pengamatan (Azka, Sugianto, Silitonga, & Nugraheni, 2018; Verma & Ghosh, 2018; Sun *et al.*, 2018; Sungmin *et al.*, 2017; Asong, Razavi, Wheeler, & Wong, 2017; Sungmin *et al.*, 2017; Omranian, Sharif, & Tvakoly, 2018; Ma *et al.*, 2016; Chen, Qin, Shen, & Zhang, 2016; Xu *et al.*, 2017; Sharifi, Steinacker, & Saghafian, 2016; Gaona, Overeem, Leijnse, & Uijlenhoet, 2016). Hasil penelitian terdahulu juga menunjukkan bahwa data GPM memiliki penyimpangan sebesar 32% dibanding data hujan hasil pengukuran pada stasiun iklim di Papua Barat (Faisol *et al.*, 2019). Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan performa CHIRPS dan GPM dalam membangkitkan data hujan harian di Jawa Timur.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan pada bulan April – Mei 2020 dengan wilayah kajian Provinsi Jawa Timur, dengan wiayah kajian seperti Gambar 1.



Gambar 1. Wilayah Kajian

1. Inventarisasi data

Data – data yang diinventarisasi antara lain; data harian CHIRPS versi 2.0, data harian GPM versi 6.0, dan data hujan harian pada *automatic weather station* (AWS) yang berlokasi di Banyuwangi, Sidoarjo, dan Madura perekaman tahun 2015 - 2019. Data CHIRPS dapat diakses dari <https://data.chc.ucsb.edu/products/CHIRPS-2.0/>, data GPM dapat diperoleh dari <https://disc.gsfc.nasa.gov/>, dan data AWS dapat diakses melalui situs Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG).

2. Uji Performa

Performa CHIRPS dan GPM diuji berdasarkan tingkat presisi dan akurasi menggunakan analisa point-to-pixel.

3. Uji Presisi

Uji presisi digunakan untuk mengetahui tingkat kedekatan data yang dihasilkan oleh CHIRPS dan GPM. Uji presisi tidak berhubungan dengan akurasi (tingkat kebenaran) data yang dihasilkan, sehingga tidak dibutuhkan data pembanding. Parameter statistik yang digunakan untuk uji presisi diantaranya variansi (Var) dan standard deviasi (SD). Var adalah suatu ukuran yang menunjukkan keragaman data atau variasi data, sedangkan SD menunjukkan jarak nilai sekelompok data terhadap nilai rata-ratanya (Tabel 1)

Tabel 1. Parameter Statistik Uji Akurasi

Parameter statistik	Formula	Nilai optimal
Variansi	$Var = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$	0
Standard deviasi	$SD = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$	0

keterangan: y_i adalah nilai curah hujan dari citra satelit pada waktu ke- i (mm) ; \bar{y} adalah nilai curah hujan rerata dari citra satelit pada periode tertentu (mm) ; dan n adalah jumlah data.

4. Uji Akurasi

Uji akurasi digunakan untuk mengetahui tingkat kedekatan data yang dihasilkan oleh CHIRPS dan GPM dengan data hasil pengukuran. Terdapat 2 (dua) jenis uji akurasi, yaitu:

a. Uji akurasi Berdasarkan Parameter Numerik

5 (lima) parameter numerik (Tabel 2) yang digunakan untuk menguji akurasi data CHIRPS dan GPM, yaitu; mean error (ME), relative bias (RBIAS), mean bias factor (MBIAS), percent bias (PBIAS), dan Pearson correlation coefficient (r). ME digunakan untuk mengetahui tingkat kesalahan data CHIRPS dan GPM dibandingkan dengan data AWS. PBIAS digunakan untuk mengukur kecenderungan nilai yang dihasilkan oleh CHIRPS dan GPM. RBIAS and MBIAS digunakan untuk menginterpretasi tingkat kebenaran data CHIRPS dan GPM dibandingkan data AWS. r digunakan untuk mengukur korelasi antara data CHIRPS dan GPM terhadap data AWS.

Tabel 2. Parameter Numerik untuk Mengukur Akurasi Data CHIRPS dan GPM (Omranian *et al.*, 2018; Saeidizand, Sabetghadam, Tarnavsky, & Pierleoni, 2018; Lelis, Bosquilia, & Duarte, 2018; Wang, Zhong, Lai, & Chen, 2017; Javier *et al.*, 2016)

Parameter statistik	Formula	Nilai optimal
Mean error	$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - x_i)$	0
Relative bias	$RBIAS = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - x_i)}{\sum_{i=1}^n x_i}$	0
Mean bias factor	$MBIAS = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{\sum_{i=1}^n x_i}$	1
Percent bias	$PBIAS = 100 \left(\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - x_i)}{\sum_{i=1}^n x_i} \right)$	0
Pearson coefisient	$r = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})(x_i - \bar{x})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}$	1

keterangan: y_i adalah nilai curah hujan dari citra satelit pada waktu ke- i (mm); \bar{y} adalah nilai curah hujan rerata dari citra satelit pada periode tertentu (mm); x_i adalah nilai curah hujan perekaman AWS pada waktu ke- i (mm); \bar{x} adalah nilai curah hujan rerata perekaman AWS pada periode tertentu (mm); dan n adalah jumlah data.

b. Uji akurasi Berdasarkan Parameter Kategorial

3 (tiga) parameter kategorial (Tabel 3) yang digunakan untuk menguji akurasi data CHIRPS dan GPM, yaitu probability of detection (POD), false alarm ratio (FAR), dan critical success index (CSI). POD merupakan indeks yang digunakan untuk menghitung peristiwa hujan yang terdeteksi dengan benar oleh satelit. FAR adalah indeks digunakan untuk menghitung peristiwa hujan yang tidak terdeteksi dengan benar oleh satelit. CSI digunakan untuk menggambarkan keseluruhan peristiwa hujan yang terdeteksi dengan benar oleh satelit. Ambang batas 0,5 mm (Tabel 4) digunakan untuk menentukan kejadian hujan (Sungmin *et al.*, 2017; Wei *et al.*, 2018)

Tabel 3. Parameter Kategorial untuk Mengukur Akurasi Data CHIRPS dan GPM (Sungmin *et al.*, 2017; Wang *et al.*, 2017; Javier *et al.*, 2016; Meyer, Drönner, & Nauss, 2017; Wei *et al.*, 2018; Prakash, Kumar, Mathew, & Venkatesan, 2017)

Parameter statistik	Formula	Optimal value
probability of detection	$POD = \left(\frac{H}{H + M} \right)$	1
false alarm ratio	$FAR = \left(\frac{H}{H + F} \right)$	0
critical success index	$CSI = \left(\frac{H}{H + M + F} \right)$	1

keterangan: *H* adalah banyaknya kejadian hujan yang terdeteksi oleh satelit dan AWS; *M* adalah banyaknya kejadian hujan yang terdeteksi oleh AWS namun tidak terdeteksi oleh satelit; dan *F* adalah banyak kejadian hujan yang terdeteksi oleh satelit namun tidak terdeteksi oleh AWS.

. Tabel 4. Tabel Kontingensi untuk Mengevaluasi Kejadian Hujan yang Terdeteksi oleh Satellite (Wei *et al.*, 2018)

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

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data CHIRPS perekaman tahun 2015 – 2019 lebih presisi dibandingkan data GPM dalam membangkitkan data hujan harian di Jawa Timur. Hal ini disebabkan variasi data CHIRPS lebih rendah dibanding data GPM yang ditunjukkan dengan rendahnya nilai variansi dan standard deviasi data CHIRPS. Hasil pengujian tingkat presisi data CHIRPS dan data GPM perekaman tahun 2015 – 2019 pada wilayah Jawa Timur disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Uji Presisi CHIRPS versi 2.0 dan GPM versi 6.0

Parameter statistik	AWS Banyuwangi		AWS Juanda		AWS Madura		Rerata	
	CHIRPS	GPM	CHIRPS	GPM	CHIRPS	GPM	CHIRPS	GPM
Var	68,11	127,56	66,11	152,65	79,19	104,43	71,14	128,21
SD	8,25	11,29	8,13	12,35	8,90	10,22	8,43	11,29

Selain lebih presisi, data CHIRPS lebih akurat daripada data GPM dalam membangkitkan data hujan harian di Jawa Timur karena memiliki tingkat kesalahan yang lebih rendah dan tingkat kebenaran yang lebih baik dibandingkan data hasil perekaman (pencatatan) pada AWS. Hal ini ditunjukkan dengan nilai ME, RBIAS, dan PBIAS yang lebih rendah serta nilai MBIAS yang lebih mendekati 1.

Hasil penelitian ini relevan dengan penelitian yang dilakukan oleh Nashwan *et al.* yang membandingkan data CHIRPS dan GPM dalam membangkitkan data hujan di Mesir (Nashwan *et al.*, 2019), dan penelitian yang dilakukan oleh Alemu dan Wimberly yang membandingkan data CHIRPS dan GPM di Etiopia (Alemu & Wimberly, 2020). Penyebab tingginya akurasi data CHIRPS dibanding data GPM yaitu data CHIRPS mengkombinasikan data hasil pengamatan satelit yang dikalibrasi dengan data pengamatan stasiun hujan dan prediktor curah hujan yang terdiri atas ketinggian dan letak geografis wilayah. Sedangkan GPM hanya menggunakan data hasil pengamatan satelit yang dikalibrasi dengan data hasil pengamatan stasiun hujan.

Meskipun memiliki akurasi yang lebih tinggi, namun data CHIRPS memiliki korelasi (*r*) yang lebih rendah terhadap data AWS dibanding data GPM. Hal ini disebabkan CHIRPS merekam data hujan setiap 24 jam (harian) sedangkan GPM merekam data hujan setiap 2 – 4 jam. Hasil pengujian

tingkat akurasi data CHIRPS dan data GPM perekaman tahun 2015 – 2019 pada wilayah Jawa Timur disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Uji Akurasi Numerik CHIRPS versi 2.0 dan GPM versi 6.0

Parameter statistik	AWS Banyuwangi		AWS Juanda		AWS Madura		Rerata	
	CHIRPS	GPM	CHIRPS	GPM	CHIRPS	GPM	CHIRPS	GPM
ME	0,61	1,95	-0,35	1,09	0,67	1,63	0,31	1,56
RBIAS	0,21	0,66	-0,06	0,20	0,20	0,49	0,11	0,45
MBIAS	1,21	1,66	0,94	1,20	1,20	1,49	1,11	1,45
PBIAS	20,74	66,27	-6,46	20,20	19,96	49,00	11,41	45,16
r	0,33	0,51	0,47	0,59	0,40	0,56	0,40	0,55

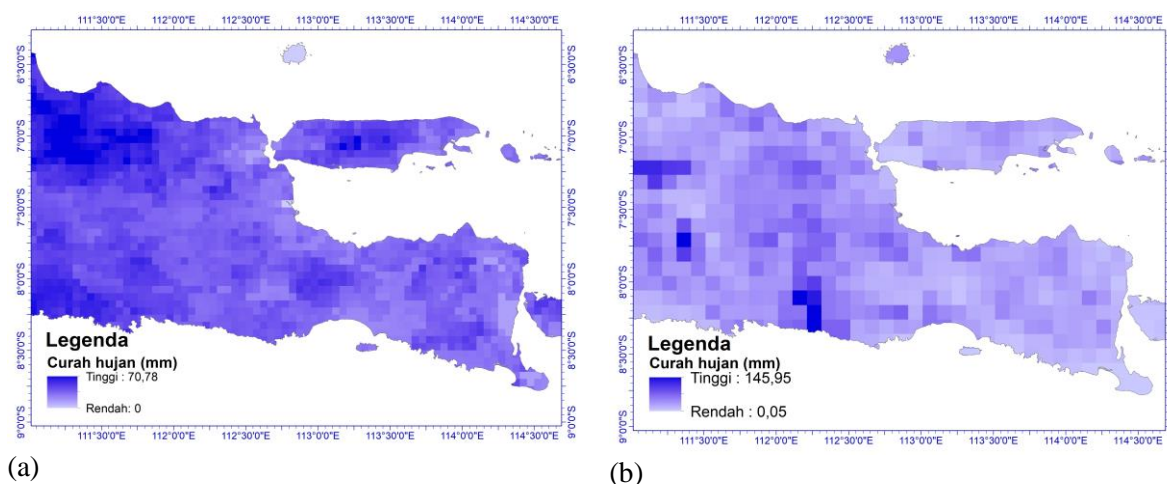
Disamping itu data CHIRPS memiliki kemampuan mendeteksi hujan yang lebih rendah dibanding data GPM. Hal ini ditunjukkan dengan nilai POD yang lebih rendah dan nilai FAR yang lebih tinggi dari GPM. Rendahnya akurasi data CHIRPS dalam mendeteksi hujan disebabkan oleh durasi perekaman yang dilakukan hanya setiap 24 jam, sedangkan data GPM melakukan perekaman data hujan setiap 2 – 4 jam.

Penelitian yang dilakukan oleh Nashwan *et al.* (2019), Alemu dan Wimberly (2020), dan Liu *et al.* (2020) juga menunjukkan bahwa GPM memiliki kemampuan mendeteksi hujan yang lebih baik daripada CHIRPS. Hasil uji akurasi data CHIRPS dan GPM dalam mendeteksi hujan disajikan pada Tabel 7.

Table 7. Hasil Uji Akurasi Kategorial CHIRPS versi 2.0 dan GPM versi 6.0

Parameter statistik	AWS Banyuwangi		AWS Juanda		AWS Madura		Rerata	
	CHIRPS	GPM	CHIRPS	GPM	CHIRPS	GPM	CHIRPS	GPM
POD	0,59	0,67	0,80	0,83	0,63	0,72	0,67	0,74
FAR	0,50	0,50	0,60	0,57	0,61	0,53	0,57	0,53
CSI	0,37	0,40	0,52	0,51	0,45	0,44	0,45	0,45

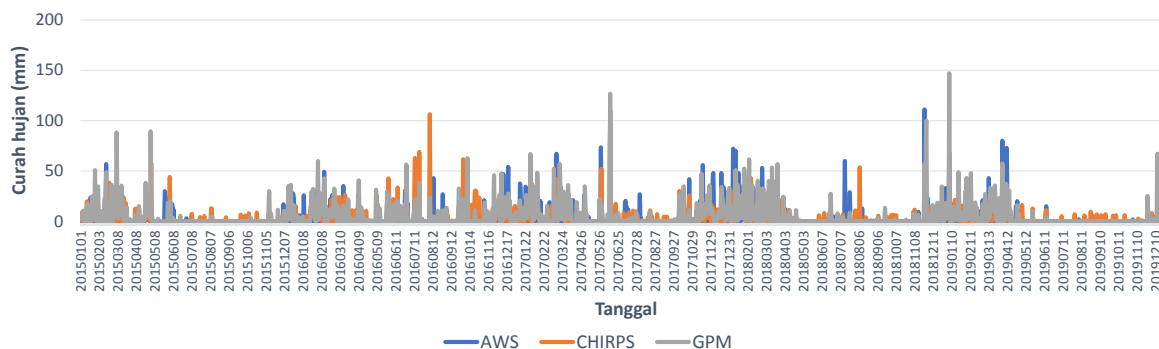
Distribusi hujan yang dibangkitkan dari data data CHIRPS lebih detail dibanding data GPM. Hal ini disebabkan data CHIRPS memiliki resolusi spasial 5 km sedangkan data GPM memiliki resolusi spasial 10 km. Distribusi spasial curah hujan di Jawa Timur perekaman 31 Desember 2019 disajikan pada Gambar 2.



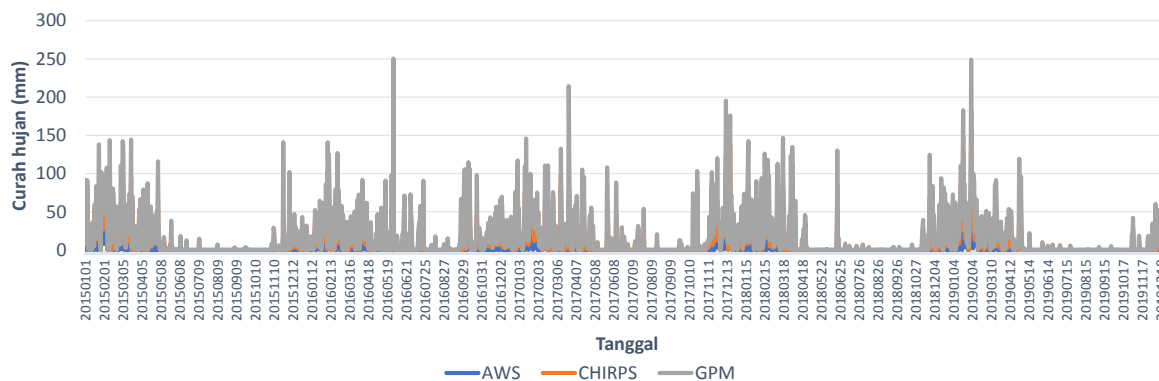
Gambar 2. Distribusi Spasial Data Curah Hujan Harian Perekaman 31 Desember 2019, (a) CHIRPS versi 2.0, (b) GPM versi 6.0

Pada Gambar 2 tampak bahwa data hujan yang dibangkitkan dari data CHIRPS lebih rendah dibanding data curah hujan yang dibangkitkan dari data GPM. Hal ini relevan dengan Gambar 3

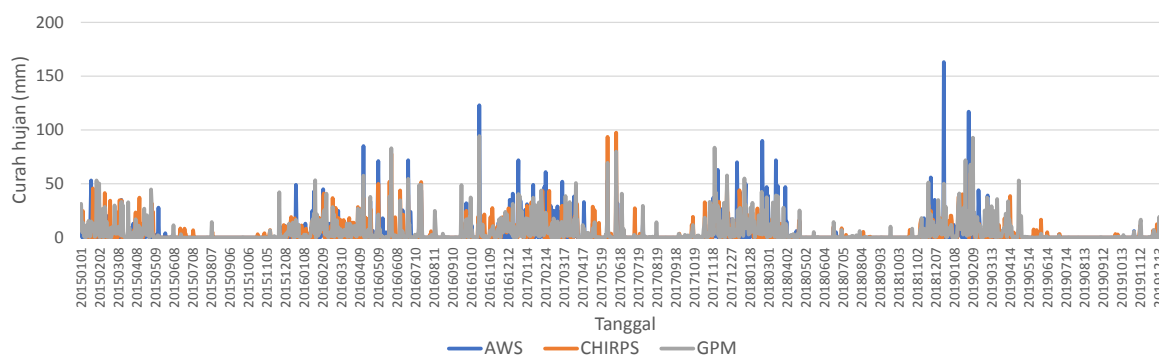
sampai Gambar 5 yang menunjukkan bahwa data hujan harian yang dibangkitkan dari data CHIRPS relatif lebih rendah dari data GPM. Penelitian yang dilakukan oleh Dezfuli et al. (2017) juga menunjukkan bahwa data hujan yang dibangkitkan dari CHIRPS relatif lebih rendah dari GPM.



Gambar 3. Grafik Perbandingan Data Curah Hujan Harian CHIRPS, GPM, dan data AWS Banyuwangi Perekaman 2015 - 2019



Gambar 4. Grafik Perbandingan Data Curah Hujan Harian CHIRPS, GPM, dan data AWS Sidoarjo Perekaman 2015 - 2019



Gambar 5. Grafik Perbandingan Data Curah Hujan Harian CHIRPS, GPM, dan data AWS Madura Perekaman 2015 - 2019

KESIMPULAN

Berdasarkan data perekaman tahun 2015 – 2019, data CHIRPS versi 2.0 memiliki performa yang lebih baik dari GPM versi 6.0 dalam membangkitkan informasi curah hujan harian di Jawa Timur. Disamping memiliki tingkat akurasi yang lebih baik serta resolusi spasial yang lebih tinggi, CHIRPS memiliki durasi perekaman yang lebih panjang dibanding data GPM yaitu sejak tahun 1981 sehingga dapat dimanfaatkan pada berbagai aplikasi, misalnya kajian banjir dan sebagainya.

Berdasarkan kondisi tersebut, data CHIRPS versi 2.0 lebih direkomendasikan daripada data GPM versi 6.0 untuk membangkitkan informasi curah hujan di Jawa Timur.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada RISTEKDIKTI yang telah membiayai penelitian ini melalui skema Penelitian Kerjasama Antar Perguruan Tinggi tahun anggaran 2020 dengan nomor kontrak 198/SP2H/AMD/LT/DRPM/2020.

DAFTAR PUSTAKA

- Alemu, W. G., & Wimberly, M. C. 2020. Evaluation of Remotely Sensed and Interpolated Environmental Datasets for Vector-borne Disease Monitoring using in situ Observations over the Amhara region, Ethiopia. *Sensors (Switzerland)*, 20(5). doi:10.3390/s20051316
- Asong, Z. E., Razavi, S., Wheeler, H. S., & Wong, J. . 2017. Evaluation of Integrated Multisatellite Retrievals for GPM (IMERG) over Southern Canada against Ground Precipitation Observations : A Preliminary Assessment. *Journal of Hydrometeorology*, 18, 1033–1050. doi:10.1175/JHM-D-16-0187.1
- Azka, M. A., Sugianto, P. A., Silitonga, A. K., & Nugraheni, I. R. 2018. Uji Akurasi Produk Estimasi Curah Hujan Satelit GPM IMERG di Surabaya, Indonesia. *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, 19(2), 83–88.
- Barua, S., Muttill, N., Ng, A. W. M., & Perera, B. J. C. 2013. Rainfall Trend and Its Implications for Water Resource Management within The Yarra River catchment . *Hydrological Processes*, 27(12), 1727–1738.
- Biao, E. I., & Alamou, E. A. 2018. Stochastic Modelling of Daily Rainfall for Decision Making in Water Management in Benin (West Africa). *Research and Advances: Environmental Sciences*, 1(1), 12–21. doi:10.33513/RAES/1901-03
- Chen, Z., Qin, Y., Shen, Y., & Zhang, S. 2016. Evaluation of Global Satellite Mapping of Precipitation Project Daily Precipitation Estimates over the Chinese Mainland. *Advances in Meteorology*, 2016, 15. doi:10.1155/2016/9365294
- Das, S., Choudhury, M. R., Gandhi, S., & Joshi, V. 2016. Application of Earth Observation Data and Standardized Precipitation Index Based Approach for Meteorological Drought Monitoring , Assessment and Prediction Over Kutch , Gujarat , India. *International Journal of Environment and Geoinformatics*, 3(2), 24–37.
- Dezfuli, A. K., Ichoku, C. M., Huffman, G. J., Mohr, K. I., Selker, J. S., van de Giesen, N., Hochreutener, R., & Annor, F. O. 2017. Validation of IMERG precipitation in Africa. *Journal of Hydrometeorology*, 18(10), 2817–2825. doi:10.1175/JHM-D-17-0139.1
- Dinku, T., Funk, C., Peterson, P., Maidment, R., Tadesse, T., Gadain, H., & Ceccato, P. 2018. Validation of the CHIRPS Satellite Rainfall Estimates over Eastern of Africa : Validation of the CHIRPS Satellite Rainfall Estimates Over Eastern. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 144(April). doi:10.1002/qj.3244
- Dirjen Sumber Daya Air. 2013. Standar Perencanaan Irigasi KP-02: Kriteria Perencanaan Bagian Bangunan Utama.
- Duncan, A., Chen, A. S., Keedwell, E. C., Djordjević, S., & Savić, D. 2012. Urban Flood Prediction in Real-Time from Weather Radar and Rainfall Data using Artificial Neural Networks. *Weather Radar and Hydrology: IAHS Red Book Proceedings*, 2012.
- Faisol, A., Budiyo, B., Indarto, I., & Novita, E. 2019. Evaluasi Data Hujan Harian Global Precipitation Measurement (GPM) versi ke-6 di Provinsi Papua Barat. *Seminar Nasional MIPA UNIPA IV Tahun 2019*, 147–154.
- Faisol, A., & Indarto, I. 2010. Soil Erosion Prediction Using GIS and RUSLE : Study at Sampean Watershed. *Tropical Soil*, 15(2), 147–152. doi:10.5400/jts.2010.15.2.147
- Funk, C. C., Peterson, P. J., Landsfeld, M. F., Pedreros, D. H., Verdin, J. P., Rowland, J. D., Romero, B. E., Husak, G. J., Michaelsen, J. C., & Verdin, A. P. 2014. *A Quasi-Global Precipitation Time Series for Drought Monitoring (1st ed.)*.

- Gaona, M. F. R., Overeem, A., Leijnse, H., & Uijlenhoet, R. 2016. First-Year Evaluation of GPM Rainfall over the Netherlands : IMERG Day 1 Final Run (V03D). American Meteorological Society, 2016, 2799–2814. doi:10.1175/JHM-D-16-0087.1
- Gebrechorkos, S. H., Hülsmann, S., & Bernhofer, C. 2018. Evaluation of Multiple Climate Data Sources for Managing Environmental Resources in East Africa. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22, 4547–4564. doi:10.5194/hess-22-4547-2018
- Goddard Space Flight Center. 2013. Global Precipitation Measurement (GPM) Science Implementation Plan. NASA.
- Hydrology Subcommittee. 1982. Guidelines for Determining Flood Flow Frequency : Bulletin 17B.
- Javier, F., Trejo, P., Civil, D. D. I., Llanos, U. D. L., Zamora, E., Carlos, S., Peñaloza-murillo, M. A., Moreno, M. A., & Farías, A. 2016. Intercomparison of Improved Satellite Rainfall Estimation with CHIRPS Gridded Product and Rain Gauge Data over Venezuela. *Atmósfera*, 29(4), 323–342. doi:10.20937/ATM.2016.29.04.04
- Karavitis, C. A., Alexandris, S., Tsesmelis, D. E., & Athanasopoulos, G. 2011. Application of the Standardized Precipitation Index (SPI) in Greece. *Water*, 3, 787–805. doi:10.3390/w3030787
- Lelis, L. C., Bosquilia, R. W. D., & Duarte, S. N. 2018. Assessment of Precipitation Data Generated by GPM and TRMM Satellites. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 33(1), 153–163.
- Liu, C. Y., Aryastana, P., Liu, G. R., & Huang, W. R. 2020. Assessment of Satellite Precipitation Product Estimates over Bali Island. *Atmospheric Research*, 244(April), 105032. doi:10.1016/j.atmosres.2020.105032
- Ma, Y., Tang, G., Long, D., Yong, B., Zhong, L., Wan, W., & Hong, Y. 2016. Similarity and Error Intercomparison of the GPM and Its Predecessor-TRMM Multisatellite Precipitation Analysis Using the Best Available Hourly Gauge Network over the Tibetan Plateau. *Remote Sensing*, 8(569), 1–17. doi:10.3390/rs8070569
- Messakh, J. J., Sabar, A., Hadihardadja, I. K., & Duppe, Z. 2013. Analyzing Variability of Rainfall and Discharge , for Sustainable Management of Water Resources in Semi-Arid Area (Case Tilong Watershed , Indonesia). *Advances in Sustainable Environmental Resource Management and Sanitation Technology*, June, 77–86.
- Meyer, H., Dröner, J., & Nauss, T. 2017. Satellite-based High-Resolution Mapping of Rainfall over Southern Africa. *Atmospheric Measurement Techniques*, 10, 2009–2019.
- Mishra, S. S., & Nagarajan, R. 2011. Spatio-Temporal Drought Assessment in Tel River Basin using Standardized Precipitation Index (SPI) and GIS. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 2(1), 79–93. doi:10.1080/19475705.2010.533703
- Nashwan, M. S., Shahid, S., & Wang, X. 2019. Assessment of Satellite-based Precipitation Measurement Products over the Hot Desert Climate of Egypt. *Remote Sensing*, 11(5). doi:10.3390/rs11050555
- Nosrati, K., & Zareiee, A. R. 2011. Assessment of meteorological drought using SPI in West Azarbaijan Province , Iran. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 15(4), 563–569.
- Omranian, E., Sharif, H. O., & Tvakoly, A. A. 2018. How Well Can Global Precipitation Measurement (GPM) Capture Hurricanes ? Case Study : Hurricane Harvey. *Remote Sensing*, 14. doi:10.3390/rs10071150
- Orupabo, S., Hart, L., & Okwere, O. 2015. Flood Prediction using Rainfall – Runoff Spatial Variation : An Overview of Flood Prediction Models. *Ethiopian Journal of Environmental Studies & Management*, 8(4), 377–386. doi:10.4314/ejesm.v8i4.3
- Prakash, S., Kumar, M. R. R., Mathew, S., & Venkatesan, R. 2017. How Accurate are Satellite Estimates of Precipitation over The North Indian Ocean? *Theoretical and Applied Climatology*, 9 p. doi:10.1007/s00704-017-2287-2
- Saeidizand, R., Sabetghadam, S., Tarnavsky, E., & Pierleoni, A. 2018. Evaluation of CHIRPS Rainfall Estimates over Iran. *Advances in Remote Sensing Pf Rainfall and Snowfall*, 144(May), 282–291. doi:10.1002/qj.3342
- Sharifi, E., Steinacker, R., & Saghafian, B. 2016. Assessment of GPM-IMERG and Other Precipitation Products against Gauge Data under Different Topographic and Climatic Conditions in Iran : Preliminary Results. *Remote Sensing*, 8(135), 24. doi:10.3390/rs8020135

- Sun, W., Sun, Y., Li, X., Wang, T., Wang, Y., Qiu, Q., & Deng, Z. 2018. Evaluation and Correction of GPM IMERG Precipitation Products over the Capital Circle in Northeast China at Multiple Spatiotemporal Scales. *Advances in Meteorology*, 2018, 14 pages.
- Sungmin, O., Foelsche, U., Kirchengast, G., Fuchsberger, J., Tan, J., & Petersen, W. A. 2017. Evaluation of GPM IMERG Early, Late, and Final rainfall estimates using WegenerNet gauge data in southeastern Austria. *Hydrology and Earth System Science*, 21, 6559–6572.
- Verma, P., & Ghosh, S. K. 2018. Study of GPM-IMERG Rainfall Data Product for Gangotri Glacier. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII(November), 20–23.
- Vieux, B. E., & Bedient, P. 1998. Estimation of Rainfall for Flood Prediction from WSR-88D Reflectivity: A Case Study, 17 – 18 October 1994 *. *American Meteorological Society*, 13, 407–415.
- Wang, Z., Zhong, R., Lai, C., & Chen, J. 2017. Evaluation of The GPM IMERG Satellite-based Precipitation Products and The Hydrological Utility. *Atmospheric Research*, 196(June), 151–163. doi:10.1016/j.atmosres.2017.06.020
- Wei, G., Haishen, L., Crow, W. T., Zhu, Y., Wang, J., & Su, J. 2018. TMPA Precipitation Products with Gauged Rainfall over Mainland China. *Advances in Meteorology*, 2018(4), 18 p.
- Winter, B., Schneeberger, K., Dung, N. V., Huttenlau, M., Achleitner, S., Stötter, J., Merz, B., & Vorogushyn, S. 2019. A Continuous Modelling Approach for Design Flood Estimation on Sub-daily Time Scale. *Hydrological Sciences Journal*, 64(5), 539–554. doi:10.1080/02626667.2019.1593419
- Xu, R., Tian, F., Yang, L., Hu, H., Lu, H., & Hou, A. 2017. Ground validation of GPM IMERG and TRMM 3B42V7 rainfall products over southern Tibetan Plateau based on a high-density rain gauge network. *Journal of Geophysical Research*, 910–924. doi:10.1002/2016JD025418
- Zhu, Q., Luo, Y., Zhou, D., Xu, Y., Wang, G., & Gao, H. 2019). Drought Monitoring Utility using Satellite-Based Precipitation Products over the Xiang River Basin in China. *Remote Sensing*, 11, 1–17.