

Koreksi Bias Data Hujan Satelit Persiann Sebagai Alternatif Pos Stasiun Hujan dengan Pendekatan *Quantile Mapping* di Sub Das Brantas Hulu

Aufa Hanan Almira, Anak Agung Ngurah Satria Damarnegara

Program Magister Manajemen Dan Rekayasa Sumber Daya Air Departemen Teknik Sipil,
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

*Correspondence email: aufaalmiraaa@gmail.com, damarnegara@its.ac.id

Abstrak. Data curah hujan yang diperoleh dari stasiun hujan masih banyak diamati secara manual di Indonesia sehingga dapat menyebabkan kesalahan dalam pengamatan. Data curah hujan penginderaan jarak jauh yang diamati oleh satelit menawarkan alternatif menarik untuk mengatasi keterbatasan stasiun meteorologi yang ada di Indonesia. Data ini menawarkan akurasi, cakupan spasial, ketepatan waktu dan efektifitas biaya. Namun data ini mengandung bias jika dibandingkan dengan stasiun penakar hujan. Penelitian ini akan mengevaluasi data curah hujan yang diamati dalam PERSIANN (*Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks*) di DAS Brantas Hulu. Data curah hujan selama 13 tahun dari 12 stasiun dievaluasi untuk mendapatkan curah hujan rerata wilayah dengan menggunakan metode Poligon Thiessen. Tiga set data dari PERSIANN, PERSIANN CCS dan PERSIANN CDR dibandingkan secara statistik dengan curah hujan rerata wilayah untuk periode harian, bulanan dan tahunan. Koreksi bias dilakukan dengan menggunakan metode regresi *Quantile Mapping* untuk mencocokkan kurva distribusi secara kumulatif dari curah hujan rata – rata. Verifikasi koreksi bias menggunakan data 2 tahun dari seri tahun 2019 dan 2020. Terakhir, analisis curah hujan ekstrim dilakukan untuk menguji data yang telah dikoreksi set perhitungan curah hujan rancangan. Korelasi data harian menunjukkan kesesuaian yang buruk untuk ketiga set dengan koefisien korelasi dibawah 0,40. Data bulanan dan tahunan memberikan korelasi yang lebih baik dengan koefisien diatas 0,90. Hal ini menunjukkan bahwa untuk kejadian deret waktu data satelit memberikan korelasi yang buruk dengan curah hujan rerata wilayah. Namun koreksi *quantile mapping* memberikan kesepakatan distribusi kumulatif yang konsisten untuk koreksi dan verifikasi model. Pada pengujian verifikasi, menunjukkan peningkatan koefisien korelasi dari 0,387 ke 0,43 (harian) dan 0,887 ke 0,915 (bulanan). Selain itu, terdapat penurunan normalized root mean square error (NRMSE) dari 31,03% ke 16,91% (harian) dan 46,03% ke 14,03% (bulanan). Penurunan normalized mean absolute error (NMAE) terjadi dari 6,12% ke 9,74% (harian) dan 31,67% ke 10,07% (bulanan). Selain itu hasil analisis curah hujan ekstrim menghasilkan nilai yang sangat mendekati dengan stasiun hujan. Sehingga didapatkan bahwa model regresi *quantile mapping* PERSIANN CCS menjadi pilihan yang terbaik dalam memperbaiki kualitas data.

Kata Kunci: Citra Satelit, Stasiun Hujan, PERSIANN (*Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Network*), Koreksi Bias, *Quantile Mapping*.

Abstract. The rainfall data is usually obtained from meteorological stations, which many sill observed manually in Indonesia and can lead to an observation error. Remote sensing rainfall data observed by satellite offer interesting alternatives to overcome the limitation of existing meteorological stations in Indonesia. It offers accuracy, spatial coverage, timeliness and cost effectiveness. However it contains bias if compared to land based station. This research will evaluate rainfall data observed in PERSIANN (*Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks*) in Brantas Hulu Watershed. The rainfall data of 13 years from 12 stations is evaluated to obtain area averaged rainfall using Thiessen Polygon method. Three datasets from PERSIANN, PERSIANN CCS and PERSIANN CDR are compared statistically with the area averaged area for daily, monthly and yearly rainfall. Bias correction is performed using *Quantile Mapping* to match the cumulative distribution curve from the area averaged rainfall. Verification of bias correction is performed using 2 years data from 2019 to 2020. Finally, the extreme rainfall analysis is performed to test the corrected data for design rainfall calculations. The correlation of daily data shows poor agreement for all three datasets with correlation coefficient below 0,40. The monthly and yearly data gives better correlation with coefficient above 0,80. It shows that for time series event, the satellite data gives poor correlation with the area averaged rainfall. However, *quantile mapping* correction gives consistent cumulative distribution agreement for correction and model verification. The verification analysis shows an increase in coefficient correlation from 0.387 to 0.43 (daily) and 0.887 to 0.915 (monthly). In addition, there is a decrease in normalized root mean square error (NRMSE) from 31.03% to 16.91% (daily) and 46.03% to 14.03% (monthly). A decrease in normalized mean absolute error (NMAE) occurred from 16.12% to 9.74% (daily) and 31.67% to 10.07%

(monthly). Beside that, the results of extreme rainfall analysis produce values that are very close to the rain station. So it is found that the PERSIANN CCS quantile mapping regression model is the best in improving data quality.

Keywords: Satellite Image, Rain Station, PERSIANN (Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Network), Bias Correction, Quantile Mapping.

PENDAHULUAN

Data hidrologi sangat penting dalam perencanaan berbagai infrastruktur sumber daya air menurut Undang-undang Republik Indonesia No.07 Tahun 2004. Curah hujan merupakan salah satu data hidrologi yang diperoleh melalui pengukuran ketebalan hujan oleh stasiun hujan dan data debit sungai yang tersebar dalam suatu wilayah daerah aliran sungai. Stasiun hujan ini dikelola oleh beberapa dinas-dinas terkait yang berwenang seperti Balai Wilayah Sungai, Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika, serta Dinas Pekerjaan Umum Bidang Pengairan. Data yang kurang baik dan operator yang tidak memadai dapat merusak kualitas dan kuantitas data yang ada sehingga hal ini akan mengurangi kualitas hasil analisis hidrologi.

Indonesia mencatat bahwa 1.295 hektar kawasan hutan di Kota Batu sudah berganti dan rusak akibat alih fungsi lahan untuk tempat wisata, pemukiman warga, ladang pertanian dan juga tegalan (Kusuma Sari, 2022). Sehingga dengan adanya alih fungsi lahan, pada tanggal 04 November 2021 Kecamatan Bumiaji Batu mengalami bencana banjir bandang (Kajian Penanggulangan Bencana, 2023). Hal ini dapat menjadi salah satu faktor rusaknya alat penakar hujan selain penakar hujan yang masih manual dan dapat menyebabkan resiko pada kesalahan pencatatan.

Selain itu dalam perencanaan maupun pengelolaan sumber daya air secara terpadu memerlukan analisis hidrologi yang baik. Hal ini disebabkan analisis hidrologi merupakan tahap awal dan penting dalam memperkirakan debit volume air untuk desain maupun yang akan dikelola. Untuk itu dibutuhkan ketersediaan data yang baik dengan periode yang panjang. Data tersebut didapatkan melalui pengamatan langsung pada stasiun- stasiun hujan yang dikelola instansi tertentu. Akan tetapi sering kali ditemui permasalahan ketersediaan data seperti minimnya kelengkapan data. Dalam beberapa kasus pemantauan curah hujan di bumi tidak memberikan cakupan yang dibutuhkan untuk pola yang akan dikembangkan, terutama dalam hal variabilitas spasial (Vernimmen dkk, 2012). Di negara berkembang, stasiun hujan pengamatan tidak tersebar merata, terutama di daerah pegunungan dimana sebagian besar curah hujan terjadi. Penempatan lokasi dan kepadatan jaringan pengukur hujan akan mempengaruhi ketelitian analisis distribusi spasial hujan (Moghari dkk, 2020). Pengamatan hujan secara langsung dinilai kurang representatif untuk digunakan sebagai prakiraan karena jangkauannya yang sangat sempit sehingga memerlukan instrumen pendukung yang dapat memberikan gambaran yang lebih baik terkait distribusi hujan dan sebagai penunjang akurasi atau prakiraan salah satunya dengan satelit (Azka dkk, 2018).

Seiring berkembangnya teknologi yang ada, teknologi *remote sensing* (satelit) mampu membuat terobosan dalam penyampaian informasi presipitasi karena kemampuan teknologi tersebut untuk melakukan pengukuran dari jarak jauh (Syaiyfullah M., 2014). Hal ini juga berpengaruh terhadap pengamatan cuaca, beberapa lembaga penelitian menggunakan data-data pengamatan citra satelit cuaca untuk menghasilkan data hujan. Perkiraan curah hujan dengan data satelit menawarkan keuntungan penting dalam hal akurasi, cakupan spasial, ketepatan waktu dan efisiensi biaya (Vernimmen, 2012). Salah satu cara yang dapat dilakukan yaitu dengan menggunakan data hujan citra satelit PERSIANN (*Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural networks*). Pada 1998, *Center for Hydrometeorology and Remote Sensing* (CHRS) Universitas Arizona membangun PERSIANN menggunakan teknik jaringan saraf tiruan untuk menentukan hubungan antara suhu puncak awan yang diukur sensor gelombang panjang *infrared* pada satelit *Geostationary Orbitting* (GEO) dan tingkat curah hujan dengan koreksi bias dari data *Passive Microwave* yang diukur oleh satelit *Low Earth Orbitting* (Sorooshian, 2000). Menurut Nguyen (2018), satelit PERSIANN memiliki 3 jenis produk yang memiliki resolusi daerah tangkapan yang berbeda-beda. Ketiga produk itu adalah PERSIANN ($0,25^{\circ} \times 0,25^{\circ}$), PERSIANN-CCS ($0,04^{\circ} \times 0,04^{\circ}$) dan PERSIANN-CDR ($0,25^{\circ} \times 0,25^{\circ}$). Oleh karena itu dapat digunakan citra satelit PERSIANN dengan berbagai skenario untuk mendukung dalam perencanaan maupun pengelolaan sumber daya air.

Dengan keberadaan data curah hujan satelit sebagai alternatif stasiun hujan masih mungkin terdapat bias antara kedua data tersebut sehingga perlu dilakukan koreksi bias untuk mengurangi bias antara kedua data tersebut. Pada penelitian Krisnayanti (2020) digunakan factor koreksi pada suatu interval tertentu untuk mengoreksi data hujan menggunakan pendekatan *Quantile Mapping*. Pendekatan ini dilakukan dalam tahap uji kalibrasi dan uji verifikasi antara data curah hujan satelit dan stasiun pengamatan hujan pada basis bulanan dan harian dengan menggunakan parameter statistic yaitu *r*, NRMSE dan NMAE.

METODE

Penelitian tesis ini merupakan penelitian kuantitatif berupa analisis tingkat keakuratan data dengan menggunakan koreksi bias. Pada penelitian ini akan dilakukan pembuatan batas sub das beserta sungainya menggunakan *software* Gis, data ini akan digunakan sebagai acuan untuk pengambilan data citra satelit. Dalam pengambilan data citra satelit maka dibutuhkan ekstrasi data yang berbentuk raster sehingga untuk keperluan analisis perlu diubah untuk menjadi data excel menggunakan *software* Arc Gis. Setelah semua data sudah tersedia, maka perlu dilakukan uji kalibrasi, ketika hasilnya dilakukan pengujian statistic maka didapatkan nilai berdasarkan uji yang digunakan. Setelah pengujian sebelum terkoreksi selesai dilakukan, maka perlu dilakukan koreksi data simulasi (citra satelit) agar semakin mendekati data observasi (stasiun hujan) menggunakan *quantile mapping*. Dalam melakukan koreksi bias, akan menghasilkan persamaan regresi yang akan digunakan untuk melakukan koreksi pada data sebelum terkoreksi agar menjadi sesudah terkoreksi. Hal ini dilakukan agar data setelah terkoreksi memiliki nilai yang mendekati data observasi yang ada. Hal tersebut dapat juga ditampilkan melalui grafik CDF (*Cumulative Distribution Function*) yang memperlihatkan grafik sebelum terkoreksi (data simulasi), sesudah terkoreksi (data simulasi) dan data stasiun hujan (data observasi). Setelah itu hasil yang sudah terkoreksi perlu dilakukan uji statistic untuk melihat perbandingan tiap skenario dengan data sebelum terkoreksi dan dapat dilakukan pemilihan skenario terbaik untuk pendekatan dengan data observasi.

HASIL

1. Analisis Data Stasiun Hujan

Untuk melakukan analisis data stasiun hujan berisikan rekap data stasiun hujan untuk mengetahui total jumlah hujan dalam periode tertentu beserta koordinat stasiun hujan, pengujian kurva massa ganda untuk mengetahui konsistensi data dan analisa hujan rerata daerah menggunakan thiessen yang digunakan untuk menggambarkan daerah pengaruh sebuah titik dalam satu set poin yang akan dijelaskan pada sub bab di bawah ini:

a. Data Stasiun Hujan

Penelitian ini menggunakan data dari 12 stasiun hujan di wilayah Sub DAS Brantas Hulu yang dapat dilihat pada Tabel 1. Data hujan pengamatan didapatkan dari Dinas Pekerjaan Umum Sumber Daya air (PUSDA) Provinsi Jawa Timur.

Tabel 1. Stasiun Penakar Hujan

No	Stasiun Hujan	Longitude	Latitude	Konversi X	Konversi Y
1	Blimbing	112°38'33,9"	07°57'08"	112.643	7.952
2	Jabung	112°45'101"	07°56'755"	112.754	7.954
3	Karangploso	112°35'857"	07°54'084"	112.598	7.891
4	Kedungkandang	112°39'20"	07°59'35"	112.656	7.993
5	Ngaglik	112°31'19.87"	07°52'24.66"	112.522	7.874
6	Ngujung	112°32'58.67"	07°51'52.01"	112.550	7.864
7	Pendem	112°34'50.04"	07°54'06.57"	112.581	7.902
8	Singosari	112°39'413"	07°53'412"	112.657	7.890
9	Temas	112°32'38.20"	07°52'34.94"	112.544	7.876
10	Tinjumoyo	112°31'41.79"	07°50'35.08"	112.528	7.843
11	Tlekung	112°31'19.87"	07°52'24.66"	112.538	7.911
12	Tumpang	112°38'568"	07°57'142"	112.761	7.999

Sumber: Dinas PUSDA, 2023.

Pada penelitian ini pemilihan stasiun hujan pengamatan dilakukan dengan melihat kelengkapan data hujan selama periode 2008-2020. Data hujan tahunan dapat dilihat pada Tabel 2. dan Gambar 1 sebagai berikut :

Tabel 2. Rekapitulasi Data Seluruh Stasiun Hujan Sub DAS Brantas

Tahun	Pos Stasiun Hujan											
	Blimbing	Jabung	Karang ploslo	Kedung kandang	Ngaggluk	Ngujung	Pendem	Singosari	Temas	Tinjumoyo	Tlekung	Tumpang
2008	1733	1726,2	1414	1752	1595	1423	1814	1220	1118	1527	1246	1938
2009	1727	1307	1318	1127	1484	1494	1562	2284	1486	1619	2382	1890
2010	3846	3632	2654	2738	2817	3107	2711	4355	2513	2721	2382	2811
2011	2074	2344	2383	1753	1324	1671	1260	2541	1529	1739	1897	2306
2012	1733	2418	1878	1495	1301	1419	1369	2132	1482	1834	1627	2203
2013	2458	2664	1965	1816	2210	2921	1636	2682	2285	2532	2479	2320
2014	3197	1627	1757	1795	1258	1699	1519	2313	1546	1737	1359	1931
2015	1667	1440	1297	1712	1174,2	1391,6	1527	1653	1359	1431,4	1469	1979
2016	1675	2167	2209	2310	2287,3	1811,1	2557	3249	2980	2205,8	1898	2375
2017	1625	1712	1713	2218	1664,4	1676,9	1716	1793	2204	2085,9	1707,4	2087

Sumber: Dinas PUSDA, 2023.

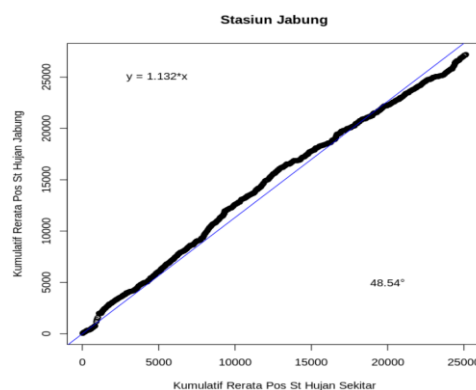
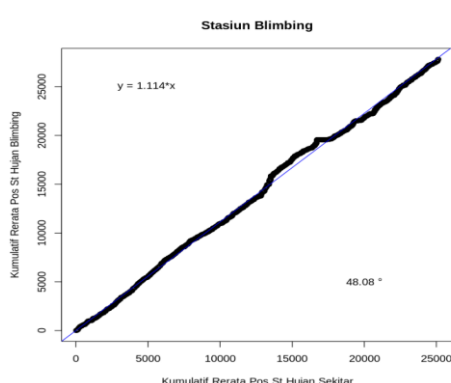
b. Uji Kurva Massa Ganda

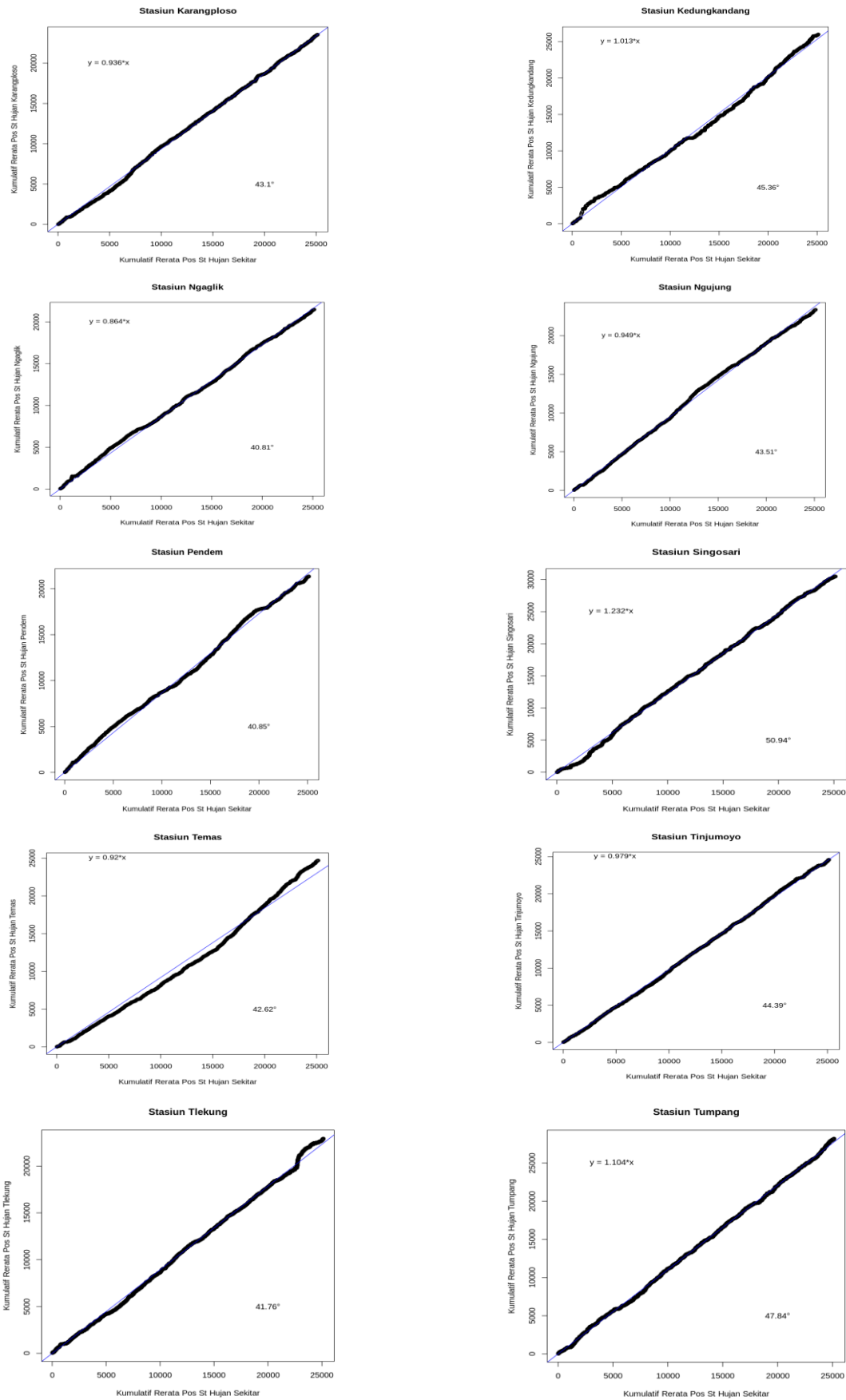
Analisis kualitas data dengan metode kurva massa ganda (*double mass curve*) bertujuan untuk mengetahui seberapa konsisten suatu data hujan yang akan diujikan. Metode kurva massa ganda hanya dapat digunakan untuk menguji data hujan pada lokasi yang memiliki jumlah pos stasiun hujan paling sedikit tiga stasiun. Hal ini dikarenakan untuk menguji konsistensi dari satu pos stasiun hujan, harus mempertimbangkan pos stasiun hujan lain yang terdapat disekitarnya, agar dapat mengetahui ada tidaknya penyimpangan yang terjadi. Metode ini dilakukan dengan membandingkan kumulatif antara data hujan stasiun dengan kumulatif rerata data hujan stasiun lain kemudian di plot pada sebuah grafik kurva massa ganda yang memiliki rentang nilai penyimpangan sudut dari batas normalnya ($42^\circ \leq \alpha \leq 48^\circ$). Berikut hasil perhitungan selengkapnya untuk seluruh pada Sub DAS Brantas dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Rekapitulasi Sudut Alfa Sebelum Terkoreksi

Stasiun Hujan	A	Status
Blimbing	48.07	TIDAK KONSISTEN
Jabung	48.54	TIDAK KONSISTEN
Karangploslo	43.09	KONSISTEN
Kedungkandang	45.36	KONSISTEN
Ngaggluk	40.81	TIDAK KONSISTEN
Ngujung	43.51	KONSISTEN
Pendem	40.84	TIDAK KONSISTEN
Singosari	50.94	TIDAK KONSISTEN
Temas	42.61	KONSISTEN
Tinjumoyo	44.38	KONSISTEN
Tlekung	41.75	TIDAK KONSISTEN
Tumpang	47.83	TIDAK KONSISTEN

Sumber: Hasil Analisis, 2023.





Gambar 2. Rekapitulasi Kurva Massa Ganda Sebelum Terkoreksi

Sumber: Hasil Analisis, 2023

Berdasarkan rekapitulasi hasil perhitungan kemiringan sudut, Stasiun Karangploso, Stasiun Kedungkandang, Stasiun Ngujung, Stasiun Temas, Stasiun Tinjumoyo, dan Stasiun Tumpang memiliki garis *trend* di dalam kemiringan sudut $42^\circ - 48^\circ$. Hasil tersebut masih dalam rentang nilai sudut α yang diijinkan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa Stasiun Karangploso, Stasiun Kedungkandang, Stasiun Ngujung, Stasiun Temas, Stasiun Tinjumoyo, dan Stasiun Tumpang data curah hujan bersifat konsisten. Sedangkan Stasiun Blimbing, Stasiun Jabung, Stasiun Ngaglik, Stasiun Pendem, Stasiun Singosari, dan Stasiun Tlekung memiliki garis *trend* di luar kemiringan sudut $42^\circ - 48^\circ$. Hal tersebut tidak berada dalam rentang nilai sudut α yang diijinkan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa data curah hujan pada Stasiun Blimbing, Stasiun Jabung, Stasiun Ngaglik, Stasiun Pendem, Stasiun Singosari, dan Stasiun Tlekung bersifat tidak konsisten. Persamaan yang didapatkan pada stasiun Ngaglik berdasarkan grafik kurva massa ganda pada Gambar 2. sebesar 40.81° yang menandakan bahwa data bersifat tidak konsisten. Oleh karena itu data hujan perlu dilakukan perbaikan dengan cara menghitung faktor koreksinya.

$$S_1 = \frac{Y}{X} = \frac{21486.2 - 32}{25135.49 - 21.5} = 0,85$$

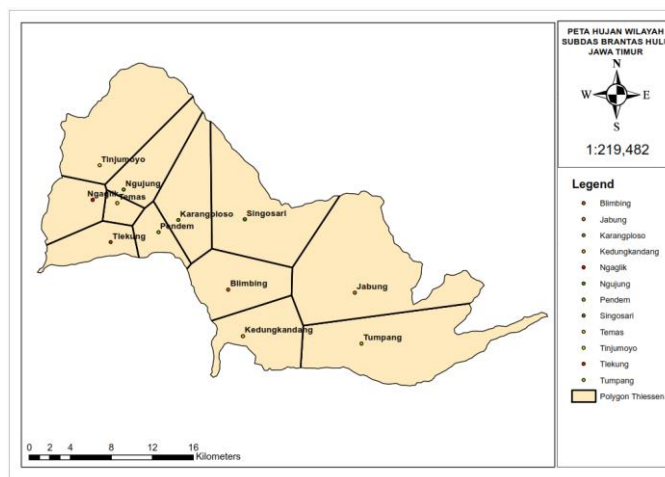
$$S_{\text{koreksi}} = 1 \text{ (sudut } 45^\circ\text{)}$$

$$Fk = \frac{S_{\text{koreksi}}}{S_i} = \frac{1}{0,85} = 1,17$$

Nilai factor koreksi untuk data hujan Stasiun Ngaglik yaitu 1,17. Sehingga untuk data hujan pada semua tahun 2008 – 2020 di stasiun tersebut harus dikalikan 1,17. Faktor koreksi ini hanya berlaku di Stasiun Ngaglik saja. Untuk stasiun lain yang memiliki kemiringan sudut α kurang dari 42° atau lebih dari 48° , maka dapat dihitung masing-masing factor koreksinya. Berikut tabel rekapitulasi hasil kemiringan sudut metode kurva massa ganda pada lokasi lain setelah dihitung faktor koreksinya.

c. Analisis Hujan Rerata Daerah

Analisis hujan wilayah dilakukan dengan menghitung rata-rata hujan pada suatu daerah aliran sungai berdasarkan titik-titik pengamatan curah hujan. Metode yang digunakan adalah polygon thiessen. Data hujan wilayah ini digunakan untuk membandingkan dengan data hujan yang berasal dari citra satelit PERSIANN dikarenakan bentuk data dari citra satelit PERSIANN juga merupakan data hujan dalam satu wilayah. Sehingga untuk menyamakan bentuk data yang ada, maka data hujan tiap stasiun harus diubah menjadi data hujan wilayah terlebih dahulu yang akan ditampilkan pada Gambar 3. sebagai berikut:



Gambar 3. Pembagian Poligon Thiessen di Sub DAS Brantas

Sumber: Hasil Analisis GIS, 2023.

Gambar 3. merupakan pembagian polygon Thiessen pada masing – masing pos stasiun hujan di Sub DAS Brantas. Setelah mendapatkan luasan pada poligon thiessen, selanjutnya dapat melakukan perhitungan koefisien relative (Kr) pada masing-masing stasiun. Hasil perhitungan koefisien relative dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4. Nilai Koefisien Korelasi Poligon Thiessen Sub DAS Brantas

No.	St. Hujan	Luas (km ²)	Kr
1	Blimbing	47.325	0.072
2	Jabung	127.451	0.193
3	Karangploso	49.568	0.075
4	Kedungkandang	44.565	0.068
5	Ngaglik	29.043	0.044
6	Ngujung	37.827	0.057
7	Pendem	16.959	0.026
8	Singosari	82.959	0.126
9	Temas	8.786	0.013
10	Tinjumoyo	84.133	0.128
11	Tlekung	26.969	0.041
12	Tumpang	103.849	0.157
Jumlah		659.433	1.000

Sumber: Hasil Analisis, 2023.

Tabel 4. merupakan hasil luas daerah pengaruh (luas polygon) dan koefisien relative dari masing-masing pos stasiun hujan di Sub DAS Brantas Hulu. Luas daerah pengaruh pada tabel diatas dapat digunakan sebagai acuan untuk menentukan kerapatan dari masing-masing pos stasiun hujan. Berdasarkan standar WMO (*World Meteorological Organization*), pada daerah pegunungan dengan iklim tropis, jarak tiap stasiun hujan yaitu sekitar 100-250 km². Jika dilihat pada tabel diatas, masih banyak pos stasiun hujan yang luas daerah pengaruh nya dibawah 100 km². Hal ini menunjukkan bahwa jarak antara satu stasiun dengan stasiun lainnya terlalu rapat, dengan kata lain persebaran/jumlah pos stasiun hujan dapat dikatakan terlalu banyak dalam satu daerah aliran sungai. Hasil perhitungan curah hujan wilayah dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 5. Hasil Perhitungan Hujan Wilayah Periode Tahunan di Sub DAS Brantas

Tahun	Blimbing	Jabung	Karang ploso	Kedung kandang	Ngaglik	Ngujung	Pendem	Singosari	Temas	Tinjumoyo	Tlekung	Tumpang	CH wilayah
2008	124,371	333,629	106,287	118,4	82,069	81,628	52,639	119,179	14,896	194,82	50,958	272,855	1551,731
2009	123,94	252,609	84,038	103,195	54,876	85,701	45,326	223,118	19,799	206,558	97,417	266,097	1562,674
2010	276,013	701,97	111,699	109,412	104,907	178,228	78,668	425,428	33,482	359,913	97,417	395,766	2872,903
2011	148,843	453,033	188,897	190,644	104,907	95,854	36,621	248,223	20,372	221,868	77,214	324,666	2111,142
2012	124,371	467,336	114,932	117,522	83,151	92,871	39,726	208,269	19,746	233,988	66,54	310,165	1878,617
2013	176,401	514,881	111,399	123,942	71,656	167,558	47,474	261,991	30,445	323,041	101,384	356,637	2256,816
2014	229,437	314,456	171,759	171,113	109,179	97,46	44,078	225,951	20,598	221,613	55,579	271,869	1933,092
2015	119,634	278,314	116,21	117,387	59,853	79,827	44,311	161,411	18,107	182,623	60,078	275,627	1516,447
2016	120,208	418,824	102,153	96,734	64,697	103,891	74,199	317,386	39,705	271,424	77,623	334,381	2031,225
2017	116,62	330,885	224,000	149,068	83,591	96,193	49,795	175,153	29,365	266,126	69,828	293,833	1884,457
2018	116,048	467,528	165,67	140,965	75,197	74,171	45,954	231,328	25,009	93,264	49,322	259,687	2244,143
2019	135,759	720,331	141,09	49,401	53,114	79,764	46,125	162,43	27,407	174,662	103,724	291,813	1991,62
2020	144,315	424,622	154,62	92,517	111,698	106,908	52,25	228,319	24,889	199,413	66,54	447,248	2053,339

Sumber: Hasil Analisis, 2023.

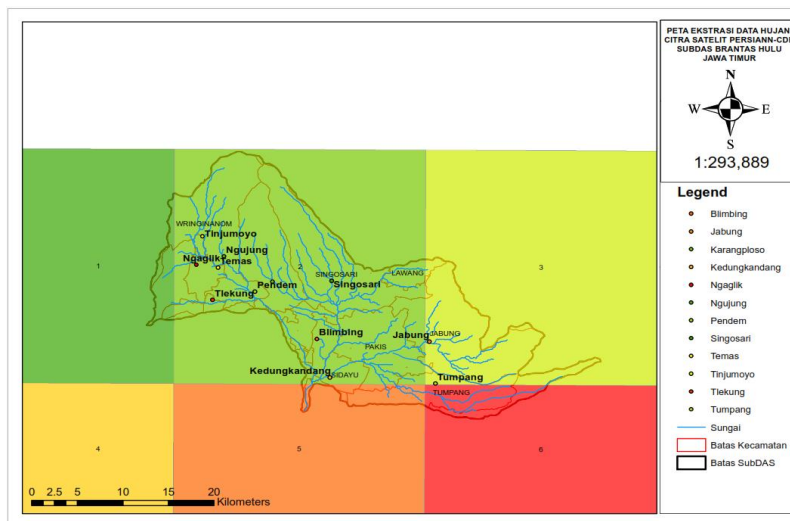
2. Analisis Data Hujan Citra Satelit

Pada analisis data citra satelit ini membahas ekstraksi data dengan menganalisis hujan wilayah citra satelit yang digunakan hal ini bertujuan untuk merubah jenis data yang dihasilkan citra satelit dari grid pixel menjadi tabulasi angka sehingga dapat digunakan untuk analisis.

a. Ekstraksi Data dan Analisis Hujan Wilayah

Data hujan satelit menggunakan 3 jenis data yaitu PERSIANN, PERSIANN-CCS, dan PERSIANN-CDR yang diperoleh dari CHRS data portal. PERSIANN memiliki *grid* hujan ukuran 0,25° x 0,25° setara dengan 27,83 km x 27,83 km sedangkan PERSIANN-CCS memiliki *grid* hujan ukuran lebih kecil yaitu 0,04° x 0,04° setara 4,45 km x 4,45 km, dan PERSIANN-CDR memiliki *grid* hujan ukuran 0,25° x 0,25° setara dengan 27,83 km x 27,83 km.

Data hujan satelit yang berbasis *grid* memerlukan proses transformasi menjadi *file excel* menggunakan *software* GIS. Sebelum proses transformasi, perlu dilakukan pemilihan *grid* yang berpengaruh terhadap wilayah Sub DAS Brantas Hulu dengan cara *overlay* pada Sub DAS Brantas Hulu dengan peta *grid* hujan satelit yang dapat dilihat pada gambar 4.5, gambar 4.6, dan gambar 4. Untuk melakukan perhitungan hujan wilayah Sub DAS Brantas Hulu berbasis hujan satelit menggunakan metode *grid* thiessen dengan menghitung koefisien thiessen *grid-grid* hujan satelit terhadap wilayah Sub DAS Brantas. Dari *overlay* peta tersebut menghasilkan jumlah *grid* hujan satelit yang digunakan dalam penelitian, untuk hujan satelit PERSIANN menggunakan 5 *grid* sedangkan PERSIANN CCS menggunakan 49 *grid* dan PERSIANN CDR menggunakan 5 *grid*. Berikut proses ekstraksi peta setiap skenario ditampilkan pada gambar di bawah ini:



Gambar 4. Peta Ekstraksi Data Hujan Citra Satelit PERSIANN Sub DAS Brantas Hulu
Sumber: Hasil Analisa, 2023

Berdasarkan gambar 4. dari *overlay* peta tersebut terdapat 6 *grid* hujan satelit yang akan dicontohkan melalui 1 tahun data seperti tabel dibawah ini :

Tabel 6. Rekapitulasi Data Hujan PERSIANN Tahun 2017

Point id	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agst	Sep	Okt	Nov	Des
1	577.72	278.68	305.92	262.83	60.21	45.42	3.41	2.16	3.31	27.81	472	412.52
2	572.39	239.14	283.37	232.98	45.39	37.63	3.11	0.82	0.73	14.76	433.72	379.76
3	492.75	184.51	272.44	202.07	33.06	50.09	2.43	0.77	0	14.01	354.19	341.87
4	422.54	196.73	267.9	258.38	46.54	30.11	1.47	0.55	2.97	21.87	410.39	298.78
5	395.36	166.01	266.51	210.21	39.41	32.98	0.39	0.49	1.19	27.77	383.35	286.08
6	387.17	182.49	273.28	216.03	28.7	37.82	0.52	0	0.46	34.42	315.68	291.12

Sumber: Hasil Analisis, 2023.

Untuk mengetahui luasan setiap *grid* yang berpengaruh di dalam lokasi penelitian, maka perlu menggunakan bantuan *software* GIS, sedangkan untuk koefisien thiessen diperoleh dari perbandingan luas masing-masing area pengaruh terhadap luasan total Sub DAS Brantas Hulu.

Tabel 7. Tabel Koefisien Grid Thiessen PERSIANN

Kode Grid	Luas Grid	Koef
1	21.37	0.03
2	455.00	0.69
3	119.73	0.18
4	0.00	0.00
5	25.02	0.04
6	38.31	0.06
Jumlah	659,43	1

Sumber: Hasil Perhitungan, 2023.

Contoh perhitungan hujan wilayah Sub DAS Brantas Hulu berbasis hujan satelit PERSIANN pada bulan Januari 2017 sebagai berikut:

1) Data hujan satelit PERSIANN pada Bulan Januari 2017 diperoleh:

No Grid 1 = 577,72 mm

No Grid 2 = 572,39 mm

No Grid 3 = 492,75 mm

No Grid 4 = 422,54 mm

No Grid 5 = 395,36 mm

No Grid 6 = 387,17 mm

2) Hujan wilayah Sub DAS Brantas Hulu:

$(0,03 \times 577,72) + (0,69 \times 572,39) + (0,18 \times 492,75) + (0 \times 422,54) + (0,04 \times 395,36) + (0,06 \times 387,17) = 540,62$ mm

Jadi hujan wilayah Sub DAS Brantas Hulu pada Bulan Januari 2017 berbasis hujan satelit PERSIANN adalah 540,62.

Untuk rekapitulasi hasil perhitungan bulan yang lain mulai tahun 2008 – 2020 dapat dilihat pada Tabel 4.10 berikut :

Tabel 8. Tabel Rekapitulasi Hujan Rerata Wilayah Tahunan Sub DAS Brantas Hulu Berbasis Data Satelit PERSIANN

Tahun	CH Tahunan (mm)
2008	1849.755
2009	1523.969
2010	3189.734
2011	1962.166
2012	1805.594
2013	2450.848
2014	1489.358
2015	1767.196
2016	2737.568
2017	2152.743
2018	1541.440
2019	1512.792
2020	2427.259

Sumber: Hasil Analisis, 2023.

Tabel 9. Tabel Hasil Perhitungan Rerata Wilayah Bulanan 2017 Sub DAS Hulu Berbasis Data Satelit PERSIANN

No.	Tahun	Bulan	CH Hujan Bulanan (mm)
109	2017	Jan	540.62
110		Feb	224.44
111		Mar	280.89
112		Apr	226.49
113		May	42.43
114		Jun	39.98
115		Jul	2.74
116		Aug	0.79
117		Sep	0.68
118		Oct	16.68
119		Nov	411.75
120		Dec	365.24

Sumber: Hasil Analisis, 2023.

Untuk mengetahui luasan setiap grid yang berpengaruh di dalam lokasi penelitian, maka perlu menggunakan bantuan *software* GIS, sedangkan untuk koefisien thiessen diperoleh dari perbandingan luas masing-masing area pengaruh terhadap luasan total Sub DAS Brantas Hulu.

3. Analisa Kalibrasi

Penelitian ini menggunakan metode *quantile mapping* guna melakukan koreksi data geografis berdasarkan prediksi terhadap observasi yang telah diketahui distribusi modelnya. Metode *Quantile Mapping* merupakan yang menghubungkan kuantil CDF data stasiun hujan dan data citra satelit. *Quantile mapping* memiliki rumus sebagai berikut:

$$P_o = F_o^{-1}(F_m(P_m))$$

Keterangan :

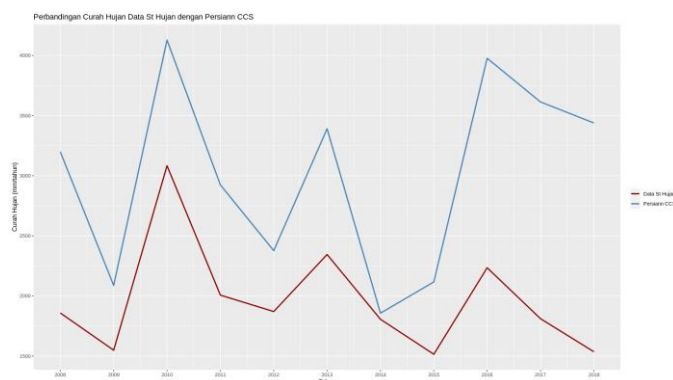
P_o = data observasi

F_o = fungsi distribusi kumulatif dari data observasi (*cumulative distribution function*)

F_m = fungsi distribusi kumulatif dari data prediksi (*cumulative distribution function*)

P_m = hasil data prediksi

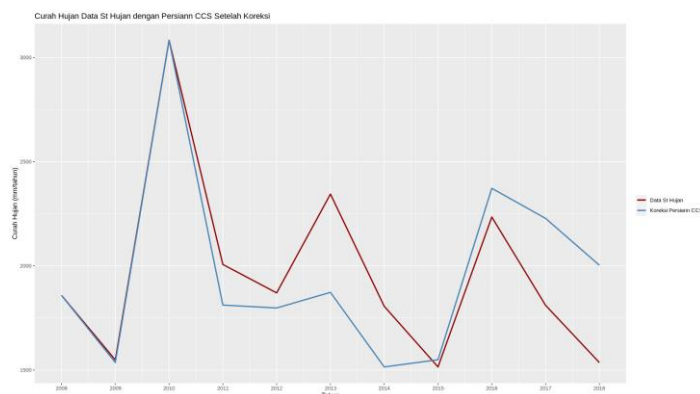
Dalam melakukan analisis, penelitian ini menggunakan bahasa pemrograman R dengan menggunakan *Google Colaboratory*, yang terdiri dari 3 package utama yaitu: *package qmap* (untuk melakukan proses *quantile mapping*), *package readxl* (untuk melakukan input data), dan *package tidyverse* (untuk proses membuat plot dan grafik). Penelitian ini menggunakan 3 jenis data yaitu tahunan, bulanan dan harian menggunakan 4 variable yaitu *thiessen* (sebagai data observasi), *PERSIANN*, *PERSIANN CCS*, *PERSIANN CDR* (sebagai model). Tahap awal yang dilakukan setelah memasukkan data adalah dengan menganalisis secara grafik dan statistic untuk koefisien korelasi (R), *normalized root mean square error (NRMSE)*, *normalized mean absolute error (NMAE)* pada data awal sebelum dilakukan koreksi *quantile mapping*.



Gambar 6. Grafik data Stasiun Hujan x Persiann CCS periode tahunan

Sumber: Hasil Analisis, 2023.

Pada gambar 6 dapat dilihat secara *time series* dari tahun 2008 – 2018 yang menunjukkan perbandingan antara data stasiun hujan dengan citra satelit *PERSIANN CCS*. Pada keseluruhan tahun memiliki kondisi fluktuasi sangat berbeda, sehingga perlu dilakukan analisis lebih lanjut dalam hal ini adalah *Quantile Mapping* untuk menyamakan distribusi data.



Gambar 7. Grafik data Stasiun Hujan x Persiann CCS periode tahunan (setelah dikoreksi)

Sumber: Hasil Analisis, 2023.

Pada gambar 7. dapat dilihat secara *time series* dari tahun 2008 – 2018 yang menunjukkan perbandingan antara data stasiun hujan dengan citra satelit PERSIANN CCS. Pada keseluruhan tahun memiliki kondisi fluktuasi yang hampir sama kecuali di tahun 2015 karena terjadi kenaikan pada PERSIANN CCS sedangkan data stasiun hujan mengalami penurunan. Tetapi tahun yang lain memiliki nilai yang lebih mendekati dengan stasiun hujan.

Proses koreksi bias dengan *quantile mapping* dilakukan dengan menggunakan perintah “fitQmapQUANT” dan “doQmapQUANT” pada *package qmap*. Grafik dan hasil statistik koreksi bias per masing-masing metode dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 10. Hasil Pengujian Statistik Koefisien Korelasi (r)

Ket.	St Hujan vs PERSIANN			St Hujan vs PERSIANNCCS			St Hujan vs PERSIANNCCR		
	Harian	Bulanan	Tahunan	Harian	Bulanan	Tahunan	Harian	Bulanan	Tahunan
Sebelum	0.373	0.868	0.787	0.337	0.830	0.656	0.407	0.871	0.821
Setelah	0.380	0.873	0.910	0.367	0.860	0.819	0.369	0.856	0.906

Sumber: Hasil Analisis, 2023.

Tabel 11. Hasil Pengujian Statistik Normalized Root Mean Square Error (NRMSE)

Ket.	St Hujan vs PERSIANN			St Hujan vs PERSIANNCCS			St Hujan vs PERSIANNCCR		
	Harian	Bulanan	Tahunan	Harian	Bulanan	Tahunan	Harian	Bulanan	Tahunan
Sebelum (%)	9.37	16.09	22.40	14.24	34.18	76.02	8.22	14.34	24.28
Setelah (%)	8.72	13.51	11.83	8.86	14.18	16.80	8.65	14.34	12.10

Sumber: Hasil Analisis, 2023.

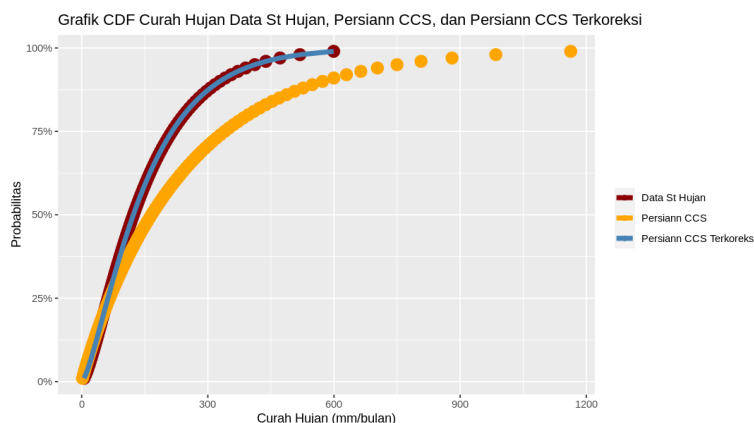
Tabel 12. Hasil Pengujian Statistik Normalized Mean Absolute Error (NMAE)

Ket.	St Hujan vs PERSIANN			St Hujan vs PERSIANNCCS			St Hujan vs PERSIANNCCR		
	Harian	Bulanan	Tahunan	Harian	Bulanan	Tahunan	Harian	Bulanan	Tahunan
Sebelum (%)	5.18	10.75	15.43	6.98	20.68	66.62	4.74	9.80	17.87
Setelah (%)	4.72	8.92	8.11	4.73	9.22	12.17	4.74	9.76	7.98

Sumber: Hasil Analisis, 2023.

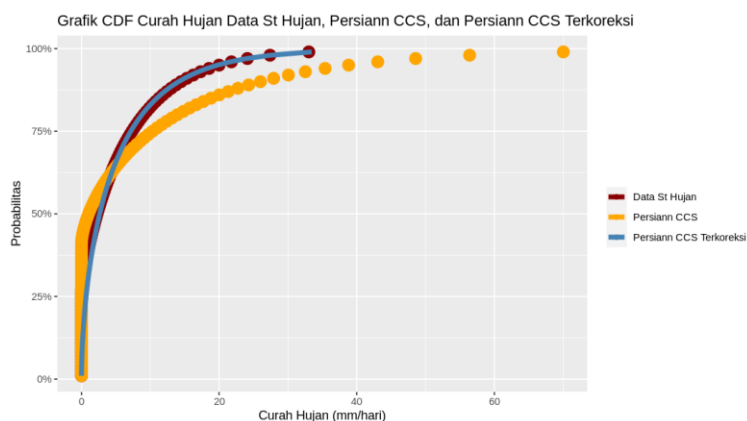
4. Uji Verifikasi

Tahap terakhir yang dilakukan pada penelitian ini yaitu pengujian verifikasi. Tahap verifikasi adalah proses untuk menguji kinerja model dengan menggunakan data yang berada di luar periode kalibrasi. Tujuannya untuk mendapatkan nilai korelasi yang menunjukkan hubungan antara data model dengan data hasil pengukuran di lapangan. Proses verifikasi dilakukan dengan menggunakan rumus regresi di skenario yang terpilih pada tahap kalibrasi. Data yang akan digunakan adalah periode data hujan bulanan dan harian tahun 2019 dan 2020. Regresi linier yang memiliki peningkatan nilai tertinggi terdapat pada skenario PERSIANN CCS. Hasil analisis setelah dilakukan uji verifikasi yang ditampilkan dalam bentuk grafik CDF dapat dilihat seperti dibawah ini :



Gambar 8. Grafik CDF Harian Uji Verifikasi Data Stasiun Hujan dan PERSIANN CCS sebelum terkoreksi dan PERSIANN CCS terkoreksi Tahun 2019-2020 Periode Bulanan

Sumber: Hasil Analisis, 2023.



Gambar 9. Grafik CDF Harian Uji Verifikasi Data Stasiun Hujan dan PERSIANN CCS sebelum terkoreksi

Sumber: Hasil Analisis, 2023.

Tabel 13. Rekapitulasi Uji Statistik Koefisien Korelasi (r) untuk Stasiun Hujan terhadap PERSIANN CCS

Keterangan	St Hujan vs PERSIANNCCS	
	Harian	Bulanan
Sebelum	0.387	0.887
Setelah	0.43	0.915

Sumber: Hasil Analisis, 2023.

Tabel 14. Rekapitulasi Uji Normalized Root Mean Square Error (NRMSE) untuk Stasiun Hujan terhadap PERSIANN CCS

Keterangan	St Hujan vs PERSIANNCCS	
	Harian	Bulanan
Sebelum	31.03%	46.03%
Setelah	16.91%	14.03%

Sumber: Hasil Analisis, 2023.

Tabel 15. Rekapitulasi Uji Normalized Mean Absolute Error (NMAE) untuk Stasiun Hujan terhadap PERSIANN CCS

Keterangan	St Hujan vs PERSIANNCCS	
	Harian	Bulanan
Sebelum	16.12%	31.67%
Setelah	9.74%	10.07%

Sumber: Hasil Analisis, 2023.

Tabel 16 menunjukkan peningkatan koefisien korelasi dari 0.387 ke 0.43 (harian) dan 0.887 ke 0.915 (bulanan). Selain itu, terdapat penurunan normalized root mean square error (NRMSE) dari 31.03% ke 16.91% (harian) dan 46.03% ke 14.03% (bulanan). Penurunan normalized mean absolute error (NMAE) terjadi dari 16.12% ke 9.74% (harian) dan 31.67% ke 10.07% (bulanan).

5. Analisis Hujan Rencana

Curah hujan rencana merupakan curah hujan maksimum yang mungkin terjadi dalam periode waktu tertentu yaitu 5 tahunan, 10 tahunan dan seterusnya. Curah hujan untuk periode ulang tertentu secara statistic dapat diperkirakan berdasarkan seri data curah hujan bulanan maksimum tahunan dengan periode 13 tahun menggunakan analisis distribusi gumbel sebagaimana dijelaskan sebagai berikut:

Tabel 16. Rekapitulasi curah hujan maksimum pada data curah hujan PERSIANN CCS terkoreksi

No	Pos Hujan	PERSIANN CCS	PERSIANN CCS Terkoreksi
1	502.97	804.07	416.38
2	476.24	484.89	290.83
3	441.84	665.86	390.23
4	416.38	583.87	367.22
5	390.23	572.81	358.61
6	381.86	619.50	382.86
7	373.93	466.33	284.13
8	367.22	547.10	353.10
9	358.61	840.94	441.84
10	353.1	892.85	476.24
11	340.02	934.72	502.97
12	290.83	794.06	373.93
13	284.13	618.21	340.02

Sumber: Hasil Analisis, 2023.

Tabel 17. Rekapitulasi Curah Hujan Rencana Kala Ulang

Kala Ulang	Yt	Kt	Rt	Rt	Rt
			St. Hujan (mm)	PERSIANN CCS (mm)	PERSIANN CCS Terkoreksi (mm)
2	0.3665	0.141	374.167	657.662	374.167
5	1.4999	0.996	444.408	828.681	444.409
10	2.2502	1.748	490.907	941.834	490.908
25	3.1985	2.699	549.677	1084.982	549.679
50	3.9019	3.405	593.270	1191.118	593.272
100	4.6001	4.105	636.541	1296.469	636.543

Sumber: Hasil Analisis, 2023.

SIMPULAN

Dari hasil analisis dan pembahasan didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

Untuk membandingkan antara data stasiun hujan dengan citra satelit baik harian, bulanan, maupun tahunan maka bisa diujikan dengan koefisien korelasi (r), *normalized root mean square error* (NRMSE), dan *normalized mean absolute error* (NMAE). Nilai koefisien korelasi terendah antara data stasiun hujan dengan citra satelit menunjukkan dimiliki oleh citra PERSIANN CCS sebesar 0.337 (harian), 0.830 (bulanan), dan 0.656 (tahunan). Nilai *normalized root mean square error* (NRMSE) tertinggi antara data stasiun hujan dengan citra satelit menunjukkan dimiliki oleh citra PERSIANN CCS sebesar 14.24% (harian) 34.18% (bulanan), dan 76.02% (tahunan). Nilai *normalized mean absolute error* (NMAE) tertinggi antara data stasiun hujan dengan citra satelit menunjukkan dimiliki oleh citra PERSIANN CCS sebesar 6.98% (harian), 20.68% (bulanan), dan 66.62% (tahunan).

Pengujian kalibrasi dilakukan setelah melakukan quantile mapping data citra satelit terhadap stasiun hujan. Untuk mengetahui seberapa besar peningkatan kualitas data dapat dilakukan dengan melakukan perhitungan selisih dalam persentase antara data citra satelit setelah terkoreksi dan sebelum terkoreksi. Pada peningkatan koefisien korelasi, PERSIANN CCS memiliki nilai tertinggi yaitu dari 0.337 ke 0.367 (harian), 0.830 ke 0.860 (bulanan), dan 0.656 ke 0.819 (tahunan). Pada penurunan *normalized root mean square error* (NRMSE), PERSIANN CCS memiliki penurunan tertinggi yaitu dari 14.24% ke 8.86% (harian), 34.18% ke 14.18% (bulanan), dan 76.02% ke 16.8% (tahunan). Pada penurunan *normalized mean absolute error* (NMAE), PERSIANN CCS memiliki penurunan tertinggi yaitu dari 6.98% ke 4.73% (harian), 20.68% ke 9.22% (bulanan), dan 66.62% ke 12.17% (tahunan).

Verifikasi dilakukan untuk mengafirmasi model regresi *quantile mapping* yang telah dikalibrasi. Pada tahap kalibrasi didapatkan bahwa model regresi *quantile mapping* terpilih yang akan digunakan di pengujian verifikasi. Model regresi *quantile mapping* yang dimaksud adalah $y = 3.884113 + 0.182626 * \text{PERSIANN CCS (harian)}$ dan $y = 50.41334 + 0.46072 * \text{Persiann CCS (bulanan)}$. Pada tahap verifikasi, menunjukkan peningkatan koefisien korelasi dari 0.387 ke 0.43

(harian) dan 0.887 ke 0.915 (bulanan). Selain itu, terdapat penurunan *normalized root mean square error* (NRMSE) dari 31.03% ke 16.91% (harian) dan 46.03% ke 14.03% (bulanan). Penurunan *normalized mean absolute error* (NMAE) terjadi dari 16.12% ke 9.74% (harian) dan 31.67% ke 10.07% (bulanan). Sehingga didapatkan bahwa model regresi quantile mapping PERSIANN CCS menjadi yang terbaik dalam memperbaiki kualitas data.

DAFTAR PUSTAKA

- 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.
- Batu, Kota, and Propinsi Jawa Timur Malang. "Menakar Kesiapsiagaan Penduduk Desa Wisata dalam Menghadapi Bencana Banjir Bandang." *Kajian Penanggulangan Bencana di Perkotaan* (2023): 3.
- Batu, Kota, and Propinsi Jawa Timur Malang. "Menakar Kesiapsiagaan Penduduk Desa Wisata dalam Menghadapi Bencana Banjir Bandang." *Kajian Penanggulangan Bencana di Perkotaan* (2023): 3.
- Ebrahimian, H., Dialameh, B., Hosseini-Moghari, S. M., & Ebrahimian, A. (2020). Optimal conjunctive use of aqua-agriculture reservoir and irrigation canal for paddy fields (case study: Tajan irrigation network, Iran). *Paddy and water environment*, 18, 499-514.
- Hsu, Kou-lin, et al. "Precipitation estimation from remotely sensed information using artificial neural networks." *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 36.9 (1997): 1176-1190.
- Krisnayanti, Denik Sri, Davianto Frangky B. Welkis, Fery Moun Hepy, and Djoko Legono. (2020). Evaluasi Kesesuaian Data Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) Dengan Data Pos Hujan Pada Das Temef Di Kabupaten Timor Tengah Selatan. *Jurnal Sumber Daya Air*, 16(1), 51-62.
- Kusuma Sari, D.A., 2022. *DAMPAK BANJIR BANDANG DAN UPAYA PENCEGAHANNYA DI MASA DEPAN OLEH PETANI KECAMATAN BUMIAJI KOTA BATU* (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Malang).
- Nguyen, Phu, et al. "The PERSIANN family of global satellite precipitation data: A review and evaluation of products." *Hydrology and Earth System Sciences* 22.11 (2018): 5801-5816.
- Sorooshian, S., Hsu, K. L., Gao, X., Gupta, H. V., Imam, B., & Braithwaite, D. (2000). Evaluation of PERSIANN system satellite-based estimates of tropical rainfall. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 81(9), 2035-2046.
- Syaifullah, M. (2014). Validasi Data TRMM Terhadap Data Curah Hujan Aktual Di Tiga DAS Di Indonesia. *Jurnal Meterologi Dan Geofisika*, 109-118.
- Vernimmen. (2012). "Evaluation and bias correction of satellite rainfall data dor drought monitoring in Indonesia", *Hydrology and Earth System Science*, vol. 16, hal. 133-146.