

Rasionalisasi Kerapatan Stasiun Hujan di Sub DAS Ngasinan Hulu Menggunakan Data Hujan Pengukuran dan Satelit

Rationalization of Rainfall Station in The Upper Ngasinan Sub Watershed Using Ground and Satellite Data

Yumna Atika¹, Sri Wahyuni^{1*}, Lily M. Limantara¹

¹Jurusan Teknik Pengairan, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang 65145, Indonesia

Article info: Research Article

DOI:

10.21776/ub.pengairan.2022.013.02.09

Kata kunci:

CHIRPS; kagan-rodha; rasionalisasi; stasiun hujan; WMO

Keywords:

CHIRPS; kagan-rodha; rationalization; rainfall station; WMO

Article history:

Received: 13-06-2022

Accepted: 27-09-2022

*Koresponden email:

yunteknik@ub.ac.id

(c) 2022 Yumna Atika, Sri Wahyuni, Lily M. Limantara



Creative Commons License

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

Abstrak

Kesalahan dalam pemantauan data hidrologi pada sebuah DAS dapat menyebabkan data yang dihasilkan tidak akurat serta dapat menyebabkan hasil perencanaan dan pengelolaan sumber daya air yang tidak efisien. Permasalahan lain pada Sub DAS Ngasinan Hulu adalah ketersediaan data curah hujan yang minim, *time series* data hujan pendek dan tidak lengkap, kurangnya petugas pengamat, kesalahan pembacaan data, dan kesulitan dalam mendapatkan data curah hujan dengan cepat. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan rekomendasi jaringan serta jumlah stasiun hujan yang efektif dan efisien pada Sub DAS Ngasinan Hulu menggunakan data pengukuran dan satelit CHIRPS. Metode yang digunakan dalam penelitian ini, yang pertama adalah melakukan uji kesesuaian antara data hujan pengukuran dengan satelit CHIRPS. Lalu mengevaluasi jaringan stasiun hujan eksisting berdasarkan standar WMO. Selanjutnya, melakukan rasionalisasi stasiun hujan menggunakan metode Kagan-Rodda dengan data pengukuran dan satelit CHIRPS. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa data hujan satelit CHIRPS sudah sesuai dengan data hujan pengukuran. Lalu, menurut standar WMO Sub DAS Ngasinan Hulu cukup diwakilkan oleh 6 stasiun hujan. Selanjutnya setelah dilakukan rasionalisasi menggunakan metode Kagan-Rodda dengan kesalahan perataan < 10% didapatkan luas pengaruh dan sebaran stasiun hujan yang sudah cukup merata dengan menggunakan 6 stasiun hujan.

Abstract

An error in monitoring hydrology data in a watershed can cause inaccurate data and lead to ineffective and inefficient water resource planning and management results. Other problems that often occur in the Upper Ngasinan Sub-watershed are lack of rainfall data availability, lack of observers, errors in reading rainfall data, and difficulties in obtaining rainfall data quickly. This research aimed to acquire recommendations for an effective and efficient rainfall station network in the Upper Ngasinan sub-watershed using rainfall ground and CHIRPS satellite data. The first method used in this research is to test the suitability of the rainfall ground data with CHIRPS. Then evaluate the existing rainfall station network based on the WMO standard. Next, rationalize the rainfall station using the Kagan-Rodda method with rainfall ground and CHIRPS satellite data. The results show that rainfall CHIRPS satellite data has been suitable with the rainfall ground data. Also, according to the WMO standard, the Upper Ngasinan sub-watershed is enough to be represented by six rainfall stations. After rationalizing using the Kagan-Rodda method with an average error of < 10%, rainfall stations' area of influence and distribution was fairly even using six rainfall stations.

Kutipan: Atika, Y., Wahyuni, S., Limantara, L. M. (2022). Rasionalisasi Kerapatan Stasiun Hujan di Sub DAS Ngasinan Hulu Menggunakan Data Hujan Pengukuran dan Satelit. *Jurnal Teknik Pengairan: Journal of Water Resources Engineering*, 13(2), 232–244. <https://doi.org/10.21776/ub.pengairan.2022.013.02.09>

1. Pendahuluan

Banjir adalah bencana alam yang dapat menyebabkan kerugian besar, baik harta benda maupun korban jiwa (Qadri, Sholichin, and Sisinggih 2016). Selain kejadian banjir, kekeringan juga merupakan bencana alam yang dapat menyebabkan dampak pada hidrologi, pertanian, dan sosial ekonomi (Harisuseno 2020). Untuk mengantisipasi terjadinya kerugian tersebut dapat dilakukan rekayasa ataupun perencanaan bangunan air. Dalam melakukan analisis hidrologi, khususnya untuk rekayasa ataupun perencanaan bangunan air, diperlukan data hidrologi, seperti data curah hujan, debit, evaporasi, dan lain sebagainya. Dalam penyediaan informasi hidrologi yang siap pakai, data hidrologi tersebut merupakan masukan yang penting (Junaidi 2015). Kesalahan dalam peninjauan data hidrologi pada sebuah DAS dapat menyebabkan data yang dihasilkan tidak akurat (Fathoni, Dermawan, and Suhartanto 2016). Kesalahan tersebut dapat diakibatkan karena jumlah stasiun hujan pada sebuah DAS belum memenuhi standar yang ada serta pola sebaran stasiun hujan yang belum cukup merata. Maka dari itu untuk menyelesaikan permasalahan tersebut perlu dilakukan rasionalisasi stasiun hujan. Rasionalisasi stasiun hujan dilakukan untuk merancang, mengevaluasi, dan mendesain ulang suatu jaringan stasiun hujan agar jumlah dan sebaran stasiun hujan dalam suatu DAS lebih efektif. Kerapatan jaringan stasiun hujan sudah diatur dalam standar WMO bahwa suatu daerah memiliki kerapatan minimum 100–250 km²/stasiun.

Permasalahan lain yang dapat berpengaruh terhadap kualitas data hujan adalah ketersediaan data curah hujan yang masih minim, *time series* data curah hujan yang pendek dan tidak lengkap, kurangnya petugas pengamat, kesalahan pembacaan data curah hujan, dan kesulitan dalam mendapatkan data curah hujan dengan cepat (Dzisofi Amelia, Wahyuni, and Harisuseno 2021). Hal ini dapat diselesaikan dengan sebuah teknologi bernama citra satelit. Citra satelit memudahkan peneliti untuk mendapatkan data curah hujan. Satelit yang digunakan adalah satelit CHIRPS yang memiliki resolusi spasial sebesar 0,05°×0,05° arc degrees atau sekitar 5 km dan resolusi temporal harian, bulanan, dan tahunan (Funk et al. 2015). Data satelit mudah diperoleh yaitu dengan cara mengunduh di sebuah situs penyedia data satelit (*Google Earth Engine*).

Sub DAS Ngasinan Hulu yang terletak di Kabupaten Trenggalek merupakan daerah yang sering terjadi banjir. Saat ini Sub DAS Ngasinan Hulu memiliki 10 stasiun hujan yang persebarannya kurang merata dan jumlah stasiun hujan yang kurang efektif. Hal ini dapat menghasilkan kualitas data yang tidak bagus dan menyebabkan kekeliruan dalam melakukan analisis selanjutnya. Selain itu, sering terjadi kendala pada stasiun hujan di Sub DAS Ngasinan Hulu seperti kerusakan alat ukur yang menyebabkan hilangnya beberapa data, kesalahan pembacaan data curah hujan, dan kesulitan dalam mendapatkan data curah hujan dengan cepat. Hal ini dapat menyebabkan berkurangnya tingkat akurasi data.

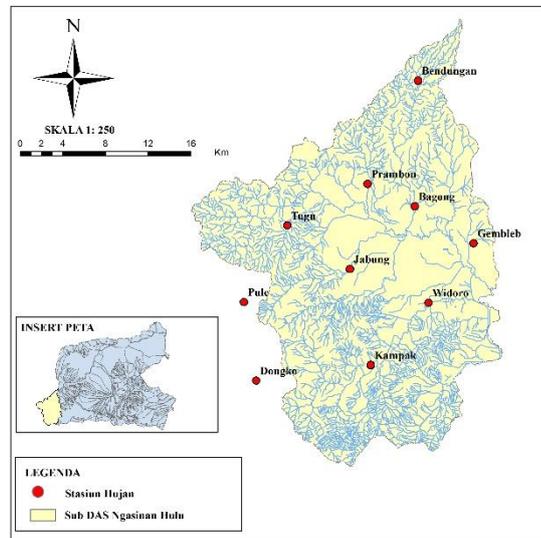
Berdasarkan permasalahan yang terdapat pada Sub DAS Ngasinan Hulu, perlu dilakukan rasionalisasi stasiun hujan. Rasionalisasi stasiun hujan dilakukan dengan menggunakan metode Kagan-Rodda. Beberapa peneliti sebelumnya sudah melakukan penelitian menggunakan metode Kagan-Rodda dan menghasilkan rasionalisasi kerapatan stasiun hujan yang baik (Alfirman, Limantara, and Wahyuni 2019). Hal yang membedakan dengan peneliti-peneliti sebelumnya adalah penelitian ini menggunakan data satelit CHIRPS dan data pengukuran. Penelitian ini bertujuan guna mendapatkan jumlah dan sebaran stasiun hujan yang efektif dan efisien.

2. Bahan dan Metode

2.1. Lokasi Penelitian

Lokasi studi pada penelitian ini adalah Sub Daerah Aliran Sungai (DAS) Ngasinan Hulu. Sub DAS Ngasinan Hulu termasuk bagian dari DAS Ngrowo-Ngasinan. Sub DAS Ngasinan Hulu mempunyai luas sebesar ± 657 km². Secara geografis Sub DAS Ngasinan Hulu terletak pada

koordinat $7^{\circ}53'56''$ - $8^{\circ}15'16''$ Lintang Selatan dan $111^{\circ}31'31''$ - $111^{\circ}47'00''$ Bujur Timur. Sub DAS Ngasinan Hulu memiliki 10 stasiun hujan, yaitu Stasiun Hujan Prambon, Tugu, Widoro, Bagong, Kampak, Bendungan, Pule, Gembleb, Dongko, dan Jabung. Pada Gambar 1 ditunjukkan peta Sub DAS Ngasinan Hulu.



Gambar 1. Peta Stasiun Hujan Sub DAS Ngasinan Hulu

2.2. Data yang Digunakan

Data hujan yang digunakan untuk penelitian ini adalah data hujan pengukuran dan satelit CHIRPS. Data hujan pengukuran didapatkan dari Dinas PU dan Penataan Ruang Kabupaten Trenggalek. Sedangkan data satelit CHIRPS didapatkan dari Website resmi *Google Earth Engine* yang dapat diakses melalui <https://earthengine.google.com/>. Penelitian ini menggunakan periode data hujan kumulatif tahunan dengan rentang data 10 tahun dari tahun 2011-2020.

2.3. Langkah Pengerjaan

Langkah pengerjaan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengumpulkan data hujan yang diperlukan, yaitu data curah hujan pengukuran dan satelit CHIRPS dengan rentang data 10 tahun dari tahun 2011-2020.
2. Melakukan pengisian data hujan yang hilang untuk data hujan pengukuran. Pengisian data hujan yang hilang menggunakan *Reciprocal Method*. Berikut merupakan rumus untuk *Reciprocal Method*.

$$P_x = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{P_i}{L_i^2}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{L_i^2}} \quad (1)$$

dimana:

P_x = data hujan yang hilang pada pos hujan x (mm)

P_i = data hujan pada pos hujan sekitarnya dalam periode yang sama (mm)

L_i = jarak antara pos hujan i dengan pos hujan x (m)

3. Melakukan uji konsistensi data dengan metode kurva massa ganda. Uji ini menggunakan data hujan pengukuran dan satelit CHIRPS.
4. Melakukan uji stasioner menggunakan uji F dan uji T. Pengujian ini dilakukan guna mengetahui kestabilan dari nilai varian dan rata-rata dari sebuah data (Wahyuni, Sisinggih, and Dewi 2021). Berikut merupakan rumus untuk uji F dan uji T:

$$F = \frac{n_1 S_1 (n_2 - 1)}{n_2 S_2^2 (n_1 - 1)} \quad t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sigma \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)^{0,5}} \quad (2)$$

dimana:

F = fungsi distribusi F

n_1 = banyaknya sampel kelompok sampel ke 1

- n_2 = banyaknya sampel kelompok sampel ke 2
 S_1 = standar deviasi kelompok sampel ke 1
 S_2 = standar deviasi kelompok sampel ke 2
 t = variabel t terhitung
 x_1 = rerata hitung kelompok sampel ke 1
 x_2 = rerata hitung kelompok sampel ke 2
5. Melakukan uji kesesuaian data yang belum terkoreksi antara data hujan pengukuran dengan satelit CHIRPS. Uji kesesuaian data yang belum terkoreksi dilakukan dengan menghitung nilai *Nash-Sutcliffe Efficiency* (NSE) (Mengistu, Woldesenbet, and Taddele 2022), *Root Squared Error* (RMSE) (Le et al. 2020), koefisien korelasi (r) (Wang et al. 2021), dan kesalahan relatif (KR) (Wahyuni, Sisinggih, and Dewi 2021).
 6. Melakukan analisis regresi untuk mendapatkan persamaan dengan nilai r terbesar. Persamaan tersebut akan digunakan untuk melakukan pengoreksian data.
 7. Melakukan uji kesesuaian data yang sudah terkoreksi dengan menghitung kembali nilai *Nash-Sutcliffe Efficiency* (NSE), *Root Squared Error* (RMSE), koefisien korelasi (r), dan kesalahan relatif (KR).
 8. Melakukan perhitungan curah hujan rerata daerah dengan metode Poligon Thiessen guna mengetahui luas pengaruh tiap stasiun hujan dan menghitung nilai curah hujan rerata daerah.
 9. Mengevaluasi kerapatan stasiun hujan yang sudah ada (eksisting) didasarkan dari standar WMO. WMO menyajikan standar untuk menentukan syarat minimum luas pengaruh (kerapatan) dari sebuah stasiun hujan yang berdasarkan topografi dan iklim suatu DAS (Harisuseno, Suhartanto, and Cipta 2020). Mengingat daerah penelitian termasuk daerah pegunungan dengan iklim tropis, sehingga kerapatan minimal satu stasiun hujan adalah 100-250 km².
 10. Melakukan analisis kerapatan stasiun hujan dengan metode Kagan-Rodda untuk menentukan rekomendasi titik stasiun hujan rekomendasi Kagan-Rodda. Berikut merupakan tahapan untuk melakukan analisis kerapatan berdasarkan metode Kagan:
 1. Menghitung nilai koefisien variasi (Cv) dengan rumus:

$$Cv = \frac{sd}{\bar{x}} \quad (3)$$

dimana:

- Cv = koefisien variasi
 Sd = standar deviasi
 \bar{x} = rerata hujan daerah

2. Melakukan perhitungan nilai koefisien korelasi (r) hujan kumulatif tahunan dan jarak antar stasiun hujan.
3. Menggambarkan grafik hubungan antar stasiun hujan dengan nilai koefisien korelasi (r) dalam suatu grafik lengkung eksponensial guna mendapatkan nilai $r(0)$ dan $d(0)$.
4. Melakukan perhitungan nilai Z_1 (kesalahan perataan) dan Z_3 (kesalahan interpolasi) dengan rumus:

$$Z_1 = Cv \sqrt{\frac{\left[1 - r_{(0)} + \frac{(0,23\sqrt{A})}{d(0)\sqrt{n}}\right]}{n}} \quad Z_3 = Cv \sqrt{\frac{\left[\frac{1}{3}(1 - r_{(0)}) + \frac{0,52 r_{(0)}\sqrt{A}}{d(0)}\right]}{n}} \quad (4)$$

dimana:

- $r_{(0)}$ = koefisien korelasi untuk jarak stasiun yang sangat pendek
 $d_{(0)}$ = radius korelasi
 Cv = koefisien variasi
 A = luas DAS (km)
 n = jumlah stasiun
 Z_1 = kesalahan perataan
 Z_3 = kesalahan interpolasi

5. Menentukan nilai Z_1 sebesar $< 10\%$ (Ayu, Shiami, and Lasminto 2019) guna mendapatkan nilai n (jumlah stasiun).
6. Menghitung besaran sisi segitiga jaring-jaring Kagan-Rodda dengan rumus:

$$L = 1,07 \sqrt{\frac{A}{n}} \quad (5)$$

dimana:

L = jarak antar stasiun (km)

A = luas DAS (km)

n = jumlah stasiun

7. Melakukan penggambaran jaring-jaring Kagan-Rodda dengan panjang sisi segitiga sebesar L .

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pengisian Data Hujan yang Hilang

Sebelum melakukan analisis selanjutnya, sebaiknya data curah hujan dilengkapi terlebih dahulu. Penelitian ini memanfaatkan metode *Reciprocal* guna mengisi data hujan yang hilang. Pada Tabel 1 ditunjukkan contoh perhitungan untuk data hujan pengukuran pada Stasiun Bendungan Bulan Oktober Tahun 2018:

Tabel 1. Data Hujan Pengukuran Hilang pada Stasiun Bendungan Bulan Oktober Tahun 2018

Nama Stasiun Hujan	Tinggi Hujan (Pi)	Jarak (Li)	Li ²	1/Li ²	P/Li ²
Bagong	10	12,07	145,62	0,007	0,069
Prambon	7	10,79	116,47	0,009	0,060
Gembleb	8	16,27	264,57	0,004	0,030
Jumlah				0,019	0,159
Px (mm)					8

3.2. Analisis Kualitas Data Hujan dengan Uji Konsistensi dan Uji Stasioner

Analisis kualitas data perlu dilakukan guna mengetahui kualitas data hidrologi. Dalam proses pengumpulan data di lapangan sering terjadi gangguan, seperti faktor manusia dan lingkungan yang akan berpengaruh terhadap kualitas data. Data hidrologi yang mempunyai kualitas yang baik dapat digunakan untuk analisis hidrologi selanjutnya. Uji konsistensi dilakukan untuk menguji kebenaran data lapangan. Uji konsistensi dilakukan dengan menggunakan metode kurva massa ganda dengan data hujan pengukuran dan satelit CHIRPS. Setelah seluruh data sudah menunjukkan hasil yang konsisten, selanjutnya dilakukan uji stasioner guna memperoleh kestabilan dari nilai varian dan rata-rata dari data hujan pengukuran dan satelit CHIRPS. Uji stasioner dilakukan dengan Uji F dan Uji T. Data dikatakan lolos dari uji stasioner apabila hasilnya menunjukkan data bersifat homogen, dimana nilai $F_{hitung} < F_{kritis}$ dan $T_{hitung} < T_{kritis}$. Hasil dari uji konsistensi ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Rekapitulasi Uji Konsistensi

Data	Titik Stasiun Hujan	Nilai Sudut Belum Terkoreksi	Faktor Koreksi	Nilai Sudut Terkoreksi	Keterangan
Curah Hujan Pengukuran	Bagong	44,04	-	-	Konsisten
	Bendungan	54,49	0,73	46,90	Konsisten
	Dongko	52,74	0,76	44,92	Konsisten
	Gembleb	36,84	1,31	44,50	Konsisten
	Jabung	39,99	1,17	42,90	Konsisten

Data	Titik Stasiun Hujan	Nilai Sudut Belum Terkoreksi	Fakor Koreksi	Nilai Sudut Terkoreksi	Keterangan
	Kampak	46,96	-	-	Konsisten
	Prambon	40,15	1,18	42,79	Konsisten
	Pule	49,57	0,91	46,21	Konsisten
	Tugu	47,01	-	-	Konsisten
	Widoro	31,94	1,62	42,75	Konsisten
	Bagong	45,22	-	-	Konsisten
	Bendungan	48,78	0,88	45,54	Konsisten
	Dongko	45,34	-	-	Konsisten
	Gembleb	44,40	-	-	Konsisten
	Jabung	41,97	1,11	44,16	Konsisten
Curah Hujan Satelit CHIRPS	Kampak	43,80	-	-	Konsisten
	Prambon	44,29	-	-	Konsisten
	Pule	46,84	-	-	Konsisten
	Tugu	45,97	-	-	Konsisten
	Widoro	42,91	-	-	Konsisten

3.3. Uji Kesesuaian Data Belum Terkoreksi

Uji kesesuaian data dilakukan guna memperoleh perbandingan antara data hujan pengukuran dan satelit CHIRPS. Uji kesesuaian data belum terkoreksi dilakukan menggunakan periode data tahunan. Metode yang digunakan dalam uji ini adalah *Nash-Sutcliffe Efficiency* (NSE), *Root Squared Error* (RMSE), koefisien korelasi (r), dan kesalahan relatif (KR). Hasil dari uji kesesuaian data belum terkoreksi ditunjukkan pada Tabel 3. Berdasarkan Tabel 3 dapat diketahui bahwa dari 10 stasiun terdapat 2 stasiun yang memiliki nilai $NSE < 0,36$ (Tidak Memenuhi), yaitu Stasiun Bagong dengan nilai $NSE = 0,246$ dan Stasiun Dongko dengan nilai $NSE = 0,090$. Oleh karena itu perlu dilakukan pengoreksian data menggunakan analisis regresi.

Tabel 3. Rekapitulasi Hasil Uji Kesesuaian Data Belum Terkoreksi

Stasiun	RMSE	NSE	Keterangan NSE	R	Keterangan R	KR (%)
Bagong	398	0,246	Tidak Memenuhi	0,705	Kuat	9,12
Bendungan	447	0,659	Memenuhi	0,866	Sangat Kuat	2,84
Dongko	338	0,090	Tidak Memenuhi	0,860	Sangat Kuat	9,90
Gembleb	432	0,589	Memenuhi	0,773	Kuat	2,33
Jabung	269	0,616	Memenuhi	0,886	Sangat Kuat	7,15
Kampak	332	0,711	Memenuhi	0,864	Sangat Kuat	4,80
Prambon	304	0,638	Memenuhi	0,852	Sangat Kuat	7,30
Pule	505	0,484	Memenuhi	0,706	Kuat	6,51
Tugu	238	0,762	Baik	0,879	Sangat Kuat	1,78
Widoro	467	0,498	Memenuhi	0,708	Kuat	0,62

3.4. Analisis Regresi

Analisis regresi dilakukan guna mendapatkan faktor koreksi untuk data satelit menggunakan tahapan kalibrasi (Sangati and Borga 2009). Tahapan kalibrasi dilakukan dengan membuat grafik scatterplot dari data hujan pengukuran dan satelit CHIRPS. Kalibrasi menghasilkan 5 persamaan

yang nantinya akan dipilih 1 persamaan dengan nilai koefisien korelasi (r) terbesar. Periode data yang digunakan adalah periode tahunan. Hasil rekapitulasi nilai koefisien korelasi (r) terbesar ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Rekapitulasi Nilai Koefisien Korelasi (r) terbesar

Stasiun	Nilai R					R_{maks}	Persamaan Regresi Terpilih
	Linier	Eksponensial	Logaritma	Polinomial	Berpangkat		
Bagong	0,705	0,704	0,701	0,705	0,705	0,705	Polinomial
Bendungan	0,866	0,893	0,844	0,937	0,874	0,937	Polinomial
Dongko	0,860	0,828	0,894	0,938	0,870	0,938	Polinomial
Gembleb	0,773	0,777	0,758	0,780	0,773	0,780	Polinomial
Jabung	0,886	0,898	0,862	0,902	0,882	0,902	Polinomial
Kampak	0,864	0,865	0,860	0,864	0,864	0,865	Eksponensial
Prambon	0,852	0,862	0,839	0,866	0,852	0,866	Polinomial
Pule	0,706	0,664	0,737	0,779	0,702	0,779	Polinomial
Tugu	0,879	0,867	0,891	0,887	0,882	0,891	Logaritma
Widoro	0,708	0,727	0,692	0,751	0,709	0,751	Polinomial

Berdasarkan Tabel 4 didapatkan persamaan regresi terpilih yang akan digunakan untuk mengoreksi data hujan satelit CHIRPS. Persamaan regresi yang banyak terpilih adalah persamaan polinomial.

3.5. Uji Kesesuaian Data Terkoreksi

Setelah didapatkan nilai R terbesar dari tahapan kalibrasi, proses selanjutnya ialah melakukan pengujian kembali dengan menghitung nilai NSE, RMSE, KR, dan r . Periode data yang digunakan adalah periode tahunan. Berdasarkan Tabel 5 didapatkan bahwa nilai NSE untuk ke 10 stasiun hujan di Sub DAS Ngasinan Hulu menunjukkan hasil “Memenuhi” serta nilai koefisien korelasi (r) menunjukkan hasil “Kuat” dan “Sangat Kuat”. Dapat disimpulkan bahwa data hujan satelit CHIRPS terkoreksi memiliki kualitas data yang lebih baik dibandingkan data yang belum terkoreksi.

Tabel 5. Hasil Rekapitulasi Uji Kesesuaian Data Terkoreksi

Stasiun	RMSE	NSE	Keterangan NSE	R	Keterangan R	KR (%)
Bagong	325	0,496	Memenuhi	0,705	Kuat	0,63
Bendungan	373	0,763	Baik	0,937	Sangat Kuat	9,97
Dongko	252	0,494	Memenuhi	0,938	Sangat Kuat	9,8
Gembleb	488	0,476	Memenuhi	0,780	Kuat	10,32
Jabung	206	0,776	Baik	0,902	Sangat Kuat	3,71
Kampak	313	0,743	Memenuhi	0,864	Sangat Kuat	1,65
Prambon	282	0,690	Memenuhi	0,866	Sangat Kuat	5,59
Pule	454	0,582	Memenuhi	0,779	Kuat	6,73
Tugu	196	0,838	Baik	0,891	Sangat Kuat	0,00
Widoro	488	0,453	Memenuhi	0,751	Kuat	9,86

3.6. Analisis Curah Hujan Rerata Daerah dan Standar WMO

Metode yang digunakan dalam penelitian ini untuk menganalisis curah hujan rerata daerah adalah metode Poligon Thiessen. Analisis ini dilakukan guna mendapatkan nilai Kr (koefisien Thiessen) dari setiap stasiun hujan yang ditunjukkan pada Tabel 6.

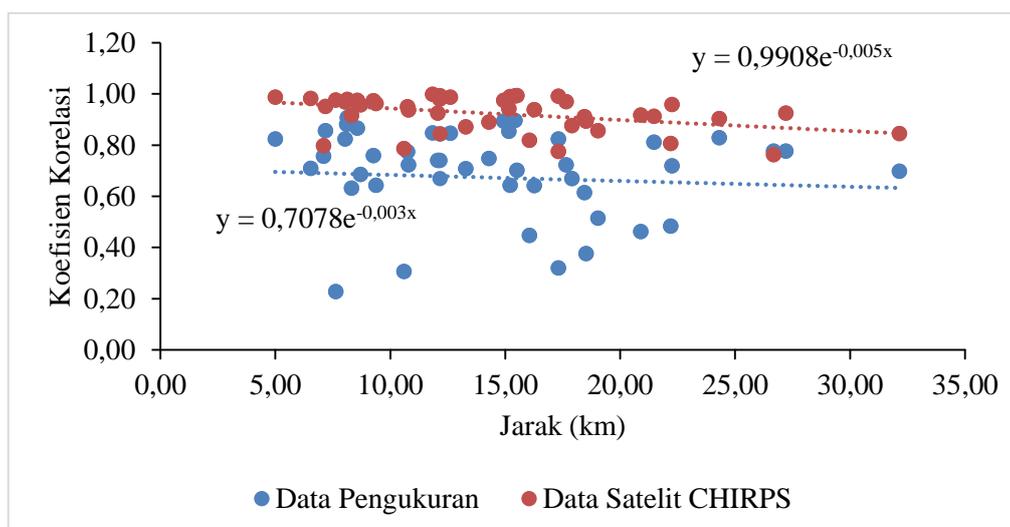
Tabel 6. Luas Pengaruh Stasiun Hujan dan Standar WMO

Stasiun	Luas (km ²)	Kr	Standar WMO
Tugu	87,27	0,133	Tidak Ideal
Jabung	66,12	0,101	Tidak Ideal
Prambon	69,22	0,105	Tidak Ideal
Bagong	62,65	0,095	Tidak Ideal
Gembleb	39,73	0,060	Tidak Ideal
Widoro	81,21	0,124	Tidak Ideal
Bendungan	57,85	0,088	Tidak Ideal
Kampak	137,95	0,210	Ideal
Dongko	26,53	0,040	Tidak Ideal
Pule	28,66	0,044	Tidak Ideal
Jumlah	657,20	1	

Analisis standar WMO dilakukan guna mengetahui kondisi persebaran stasiun hujan eksisting di Sub DAS Ngasinan Hulu. Menurut standar WMO, Sub DAS Ngasinan Hulu dengan luas $\pm 657 \text{ km}^2$ merupakan daerah tropis yang cukup diwakilkan dengan 6 stasiun hujan. Berdasarkan Tabel 6 dapat diketahui bahwa hanya 1 stasiun hujan yang memiliki luas pengaruh dengan kondisi ideal menurut standar WMO, yaitu Stasiun Hujan Kampak. Berdasarkan hasil dari analisis tersebut, dapat dikatakan bahwa Sub DAS Ngasinan Hulu perlu dilakukan rasionalisasi stasiun hujan.

3.7. Analisis Kerapatan Jaringan Stasiun Hujan dengan Metode Kagan Rodda

Dalam analisis ini, tahapan pertama yang dilakukan adalah menghitung nilai koefisien variasi menggunakan data hujan pengukuran dan satelit CHIRPS. Dari perhitungan tersebut didapatkan nilai koefisien variasi untuk data hujan pengukuran sebesar 0,24 dan data hujan satelit CHIRPS sebesar 0,23. Tahapan selanjutnya adalah menghitung nilai koefisien korelasi dan jarak antar stasiun hujan dan menggambarkan grafik eksponensial yang ditunjukkan pada Gambar 2.



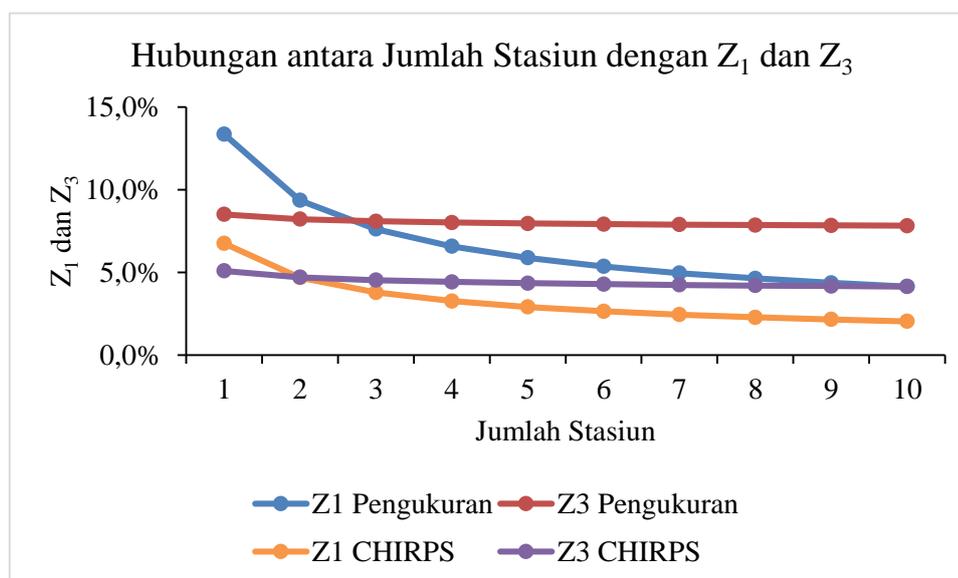
Gambar 2. Grafik Hubungan antara Koefisien Korelasi (r) dengan Jarak Antar Stasiun Hujan untuk Data Pengukuran dan Satelit CHIRPS

Berdasarkan Gambar 2, didapatkan nilai $r(0)$ sebesar 0,9908 dan nilai $d(0)$ sebesar $1/0,005 = 500$ km untuk data pengukuran serta didapatkan nilai $r(0)$ sebesar 0,7078 dan nilai $d(0)$ sebesar $1/0,003 = 333,3$ km untuk data satelit CHIRPS. Setelah itu nilai $r(0)$ dan $d(0)$ tersebut digunakan untuk melakukan perhitungan nilai Z_1 (kesalahan perataan) dan Z_3 (kesalahan interpolasi) dengan syarat nilai $Z_1 < 10\%$. Nilai Z_1 dan Z_3 untuk data pengukuran dan satelit CHIRPS ditampilkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Nilai Z_1 dan Z_3 untuk Data Pengukuran dan Satelit CHIRPS

n	Data Pengukuran		Data Satelit CHIRPS	
	Z_1	Z_3	Z_1	Z_3
1	13,3%	8,5%	6,7%	5,1%
2	9,4%	8,2%	4,7%	4,7%
3	7,6%	8,1%	3,8%	4,5%
4	6,6%	8,0%	3,3%	4,4%
5	5,9%	8,0%	2,9%	4,3%
6	5,4%	7,9%	2,6%	4,3%
7	5,0%	7,9%	2,4%	4,2%
8	4,6%	7,9%	2,3%	4,2%
9	4,4%	7,8%	2,1%	4,2%
10	4,1%	7,8%	2,0%	4,1%

Setelah dilakukan tahapan perhitungan metode Kagan-Rodda menggunakan data hujan pengukuran dan satelit CHIRPS, dihasilkan nilai L (jarak antar stasiun hujan) yang bernilai sama yaitu sebesar 11,20 km. Hal ini disebabkan pemilihan jumlah stasiun yang berjumlah 6. Pemilihan jumlah stasiun hujan ini berdasarkan standar WMO dan nilai kesalahan perataan (Z_1) bernilai kurang dari 10%. Berdasarkan hasil perhitungan, untuk data curah pengukuran dihasilkan nilai Z_1 sebesar 5,4% dan Z_3 sebesar 7,9%. Sedangkan untuk data curah hujan satelit CHIRPS didapatkan nilai Z_1 sebesar 2,9% dan nilai Z_3 sebesar 4,3%.

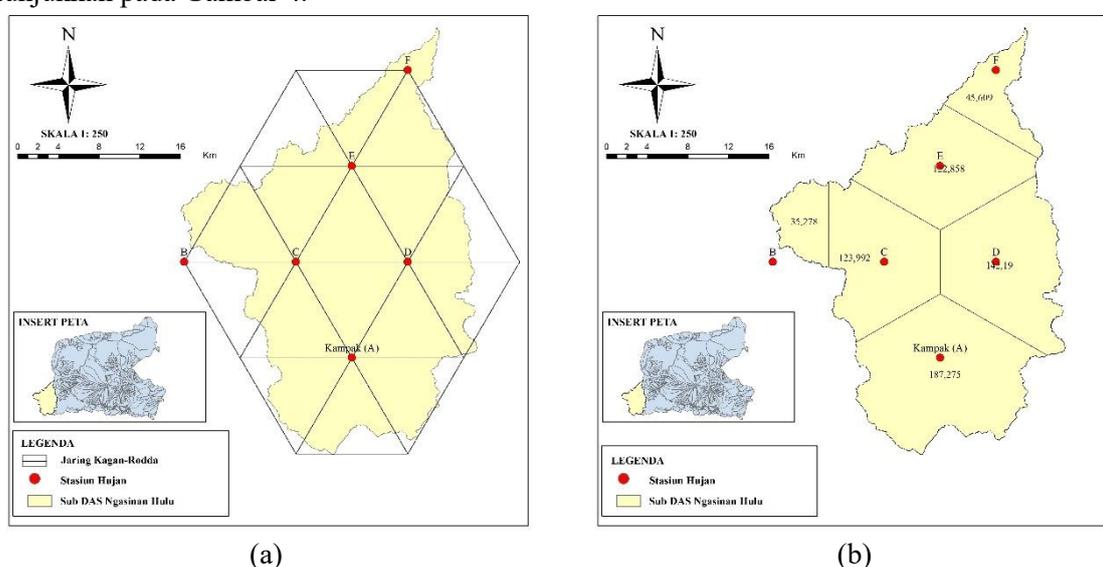


Gambar 3. Grafik Hubungan antara Jumlah Stasiun dengan Z_1 dan Z_3 untuk Data Pengukuran dan Satelit CHIRPS

Gambar 3 menunjukkan bahwa data curah hujan satelit CHIRPS memiliki kesalahan perataan (Z_1) dan kesalahan interpolasi (Z_3) lebih kecil dibandingkan curah hujan pengukuran. Hal ini diakibatkan karena tidak adanya perbedaan yang signifikan pada curah hujan CHIRPS antar stasiun hujannya, sehingga antar stasiun hujan memiliki hubungan korelasi yang kuat. Karena hubungan korelasinya kuat sehingga kesalahan perataan (Z_1) dan kesalahan interpolasi (Z_3) yang dihasilkan lebih kecil. Selain itu nilai Z_1 dan Z_3 pada data curah hujan satelit CHIRPS bernilai lebih kecil dibandingkan data curah hujan pengukuran dikarenakan nilai koefisien variasi (CV) pada data curah hujan satelit CHIRPS bernilai lebih kecil, hal ini membuktikan bahwa data hujan satelit CHIRPS memiliki nilai yang lebih merata (homogen) dibandingkan data hujan pengukuran.

3.8. Rasionalisasi Stasiun Hujan Menggunakan Metode Kagan Rodda

Setelah didapatkan nilai L sebesar 11,20 km dengan stasiun hujan sejumlah 6 yang didasarkan oleh standar WMO. langkah selanjutnya adalah melakukan percobaan pertama penggambaran jaring Kagan-Rodda dengan Stasiun Hujan Kampak sebagai stasiun acuan. Peta jaring Kagan-Rodda ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. (a) Peta Jaring Kagan Rodda Percobaan Pertama (b) Poligon Thiessen Percobaan Pertama

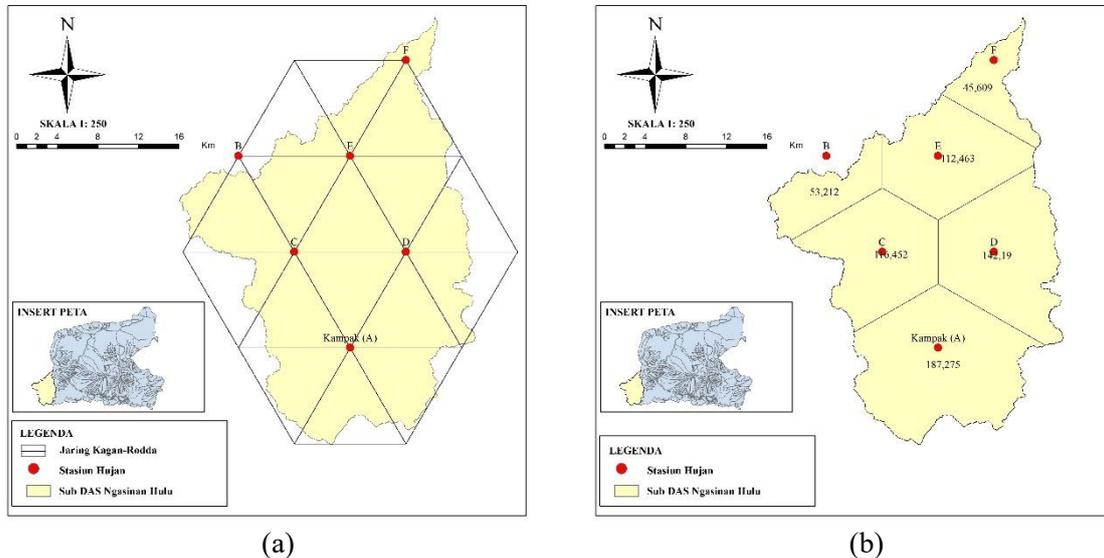
Setelah dilakukan penggambaran jaring Kagan-Rodda, selanjutnya didapatkan peta poligon Thiessen seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4 dan luas pengaruh yang ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Luas Pengaruh pada Percobaan Pertama

Stasiun	Luas (km ²)	Luas Pengaruh (%)
Kampak (A)	187,28	28,50
B	35,28	5,37
C	123,99	18,87
D	142,19	21,64
E	122,86	18,69
F	45,61	6,94

Pada percobaan pertama dihasilkan rekomendasi lokasi stasiun hujan yang diperoleh dari penggambaran jaring-jaring segitiga Kagan-Rodda. Berdasarkan Tabel 8 dapat diketahui luas pengaruh stasiun hujan untuk percobaan pertama. Dapat diketahui pula bahwa persebaran stasiun hujan pada percobaan pertama belum cukup merata. Maka dari itu perlu dilakukan percobaan selanjutnya agar persebaran stasiun hujannya merata.

Selanjutnya melakukan percobaan kedua dengan melakukan perubahan pada saat penempatan jaring-jaring segitiga Kagan-Rodda serta menetapkan kembali Stasiun Kampak sebagai titik acuan. Selanjutnya didapatkan hasil penggambaran jaring-jaring segitiga Kagan Rodda serta poligon Thiessen untuk percobaan kedua, seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. (a) Peta Jaring Kagan Rodda Percobaan Kedua (b) Poligon Thiessen Percobaan Kedua

Tabel 9. Luas Pengaruh pada Percobaan Kedua

Stasiun	Luas (km ²)	Luas Pengaruh (%)
Kampak (A)	187,26	28,50
B	53,21	8,10
C	116,45	17,72
D	142,19	21,64
E	112,46	17,11
F	45,61	6,94

Berdasarkan Gambar 5 dan Tabel 9 dapat diketahui bahwa luas pengaruh serta persebaran pada percobaan sudah cukup merata. Maka dari itu, hasil rekomendasi yang digunakan pada penelitian ini adalah hasil rekomendasi dari percobaan kedua. Hal ini didukung oleh persebaran stasiun hujan yang sudah merata serta luas pengaruh stasiun hujan yang sudah memenuhi standar WMO. Selanjutnya didapatkan koordinat stasiun hujan hasil rekomendasi rasionalisasi Kagan-Rodda seperti tertera pada Tabel 10. Stasiun hujan hasil rekomendasi, yaitu dengan mempertahankan Stasiun Kampak dan memindahkan Stasiun Tugu ke Stasiun B, Stasiun Jabung ke Stasiun C, Stasiun Widoro ke Stasiun D, Stasiun Prambon ke Stasiun E, dan Stasiun Bendungan ke Stasiun F seperti yang ditampilkan pada Tabel 10.

Tabel 10. Koordinat Stasiun Hujan Hasil Rekomendasi Rasionalisasi Kagan - Rodda

Stasiun Eksisting	Koordinat		Stasiun Kagan-Rodda	Koordinat	
	Lintang	Bujur		Lintang	Bujur
Kampak	8°10'34,2"	111°40'11,6"	Kampak (A)	8°10'34,20"	111°40'11,6"
Tugu	8°03'24,7"	111°35'55,8"	B	8°0'14,36"	111°34'11,24"
Jabung	8°05'38,6"	111°39'07,2"	C	8°05'24,29"	111°37'11,38"
Widoro	8°07'22,2"	111°43'08,2"	D	8°05'23,70"	111°43'10,78"
Prambon	8°01'15,7"	111°40'0,70"	E	8°0'13,81"	111°40'10,57"
Bendungan	7°55'57,5"	111°42'34,8"	F	7°55'3,32"	111°43'9,70"
Pule	8°07'20,9"	111°33'42,3"	-	-	-

Stasiun Eksisting	Koordinat		Stasiun Kagan-Rodda	Koordinat	
	Lintang	Bujur		Lintang	Bujur
Gembleb	8°03'18,5"	111°45'25,8"	-	-	-
Dongko	8°11'22,9"	111°34'20,7"	-	-	-
Bagong	8°02'24,9"	111°42'26,1"	-	-	-

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil uji kesesuaian data hujan pengukuran dan satelit CHIRPS terkoreksi dengan menghitung nilai *Nash-Sutcliffe Efficiency* (NSE), *Root Squared Error* (RMSE), koefisien korelasi (r), dan kesalahan relatif (KR) didapatkan bahwa nilai NSE untuk 10 stasiun hujan di Sub DAS Ngasinan Hulu menunjukkan hasil “Memenuhi” serta nilai koefisien korelasi (r) menunjukkan hasil “Kuat” dan “Sangat Kuat”. Maka dari itu dapat disimpulkan bahwa data hujan pengukuran dengan satelit CHIRPS memiliki tingkat kesesuaian yang tinggi serta satelit CHIRPS dapat digunakan sebagai alternatif pengganti atau pelengkap dari data yang hilang atau tidak tersedia di lapangan.

Hasil evaluasi jaringan stasiun hujan eksisting berdasarkan standar WMO menunjukkan bahwa Sub DAS Ngasinan Hulu dengan luas sebesar 657 km² cukup diwakilkan 6 stasiun saja sedangkan saat ini Sub DAS Ngasinan hulu memiliki 10 stasiun. Maka dari itu perlu dilakukan rasionalisasi stasiun hujan dengan metode Kagan-Rodda. Rasionalisasi stasiun hujan dengan metode Kagan-Rodda dilakukan dengan data hujan pengukuran dan satelit CHIRPS. Hasil rekomendasi rasionalisasi metode Kagan-Rodda dengan mempertimbangkan nilai Z_1 (kesalahan perataan) < 10% didapatkan luas pengaruh dan sebaran stasiun hujan yang sudah cukup merata dengan menggunakan 6 stasiun hujan.

Daftar Pustaka

- Alfirman, Zulfikar R., Lily M. Limantara, and Sri Wahyuni. 2019. “Rasionalisasi Kerapatan Pos Hujan Menggunakan Metode Kagan-Rodda Di Sub Das Lesti.” *Jurnal Teknik Sipil* 8(2): 153–64.
- Ayu, Faradilla, Rizki Shiami, and Umboro Lasminto. 2019. “Rationalization of Hydrology Station Network Using Rainfall Ground and Satellite Data.” *International Research Journal of Advanced Engineering and Science* 4(3): 225–29. <https://www.researchgate.net/publication/351119137>.
- Dzisofi Amelia, Ennisa, Sri Wahyuni, and Donny Harisuseno. 2021. “Evaluasi Kesesuaian Data Satelit Sebagai Alternatif Ketersediaan Data Evaporasi Di Waduk Wonorejo Compatibility Evaluation Satellite Data as an Alternative of Evaporation Data Availability in Wonorejo Reservoir.” *Jurnal Teknik Pengairan* 2021(2): 127–38. <https://doi.org/10.21776/ub.pengairan.2021.012.02.05>.
- Fathoni, Syarif, Very Dermawan, and Ery Suhartanto. 2016. “Analisis Efektivitas Kerapatan Jaringan Pos Stasiun Hujan Di DAS Kedungsoko Dengan Menggunakan Jaringan Saraf Tiruan (Artificial Neural Network).” 7(1): 129–38.
- Funk, Chris et al. 2015. “The Climate Hazards Infrared Precipitation with Stations - A New Environmental Record for Monitoring Extremes.” *Scientific Data* 2(June 2016).
- Harisuseno, Donny. 2020. “Comparative Study of Meteorological and Hydrological Drought Characteristics in the Pekalen River Basin, East Java, Indonesia.” *Journal of Water and Land Development* 45: 19–41.
- Harisuseno, Donny, Ery Suhartanto, and Dara Marreta Cipta. 2020. “Rainfall-Streamflow Relationship Using Stepwise Method as a Basis for Rationalization of Rain Gauge Network Density.” *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)* 8(5): 3814–21.
- Junaidi, Rahmad. 2015. “Kajian Rasionalisasi Jaringan Stasiun Hujan Pada Ws Parigi-Poso Sulawesi Tengah Dengan Metode Kagan Rodda Dan Kriging.” *Jurnal Ilmu-Ilmu Teknik - Sistem* 11(1):

22–31.

- Le, Manh Hung, Venkataraman Lakshmi, John Bolten, and Duong Du Bui. 2020. “Adequacy of Satellite-Derived Precipitation Estimate for Hydrological Modeling in Vietnam Basins.” *Journal of Hydrology* 586(November 2019): 124820. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124820>.
- Mengistu, Abiy Getachew, Tekalegn Ayele Woldesenbet, and Yihun Dile Taddele. 2022. “Evaluation of Observed and Satellite-Based Climate Products for Hydrological Simulation in Data-Scarce Baro -Akob River Basin, Ethiopia.” *Ecohydrology and Hydrobiology* 22(2): 234–45. <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2021.11.006>.
- Qadri, Wahyuddin, Moh Sholichin, and Dian Sisinggih. 2016. “Studi Penanganan Banjir Sungai Bila Kabupaten Sidrap.” : 277–88.
- Sangati, M., and M. Borga. 2009. “Influence of Rainfall Spatial Resolution on Flash Flood Modelling.” *Natural Hazards and Earth System Science* 9(2): 575–84.
- Wahyuni, S., D. Sisinggih, and I. A.G. Dewi. 2021. “Validation of Climate Hazard Group InfraRed Precipitation with Station (CHIRPS) Data in Wonorejo Reservoir, Indonesia.” *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 930(1).
- Wang, Qiang et al. 2021. “Assessment of Four Latest Long-Term Satellite-Based Precipitation Products in Capturing the Extreme Precipitation and Streamflow across a Humid Region of Southern China.” *Atmospheric Research* 257(8): 105554. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2021.105554>.