

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

Ennisa Dzisofi Amelia¹, Sri Wahyuni^{1*}, Donny Harisuseno¹

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

Article info:

Kata kunci:

Evaporasi; GLDAS-2.1; CFS-V2; kalibrasi; validasi

Keywords:

Evaporation; GLDAS-2.1; CFS-V2; calibration; validation

Article history:

Received: 03-08-2021

Accepted: 30-11-2021

*Koresponden email:
yuniteknik@ub.ac.id

Abstrak

Informasi evaporasi waduk penting untuk mengetahui signifikansi kehilangan air akibat evaporasi yang mencapai 90-95% dari total kehilangan air di waduk. Permasalahan yang sering dihadapi pada data evaporasi adalah minimnya ketersediaan data. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, satelit GLDAS-2.1 dan CFS-V2 memiliki kemampuan dalam mengestimasi evaporasi di permukaan. Satelit tersebut memiliki resolusi spasial dan temporal yang tinggi, jangkauan wilayahnya luas, data *near realtime* dan terekam secara kontinyu, akses cepat dan ekonomis. Namun, suatu data satelit dapat dimanfaatkan apabila memiliki koherensi yang kuat dengan data observasi. Tujuan penelitian ini adalah untuk melakukan evaluasi kesesuaian data evaporasi satelit GLDAS-2.1 dan CFS-V2 terhadap data evaporasi pengamatan dan merekomendasikan satelit mana yang tepat dalam mengestimasi evaporasi sehingga dapat dimanfaatkan sebagai alternatif ketersediaan data evaporasi di Waduk Wonorejo. Evaluasi yang dilakukan pada studi ini menggunakan analisa statistika di Stasiun Geofisika Wonorejo. Hasil kalibrasi data pada satelit GLDAS-2.1 dan CFS-V2 menghasilkan faktor koreksi dengan bentuk persamaan regresi polinomial. Pada tahap validasi terkoreksi nilai RMSE, NSE, R dan KR menunjukkan hasil yang lebih baik yang awalnya sebesar 21% sebelum terkoreksi naik menjadi 79% setelah terkoreksi. Satelit GLDAS-2.1 menjadi satelit yang direkomendasikan karena menghasilkan nilai NSE dan R^2 yang jauh lebih baik dengan persentase sebesar 100% jika dibandingkan CFS-V2.

Abstract

Reservoir evaporation information is important to determine the significance of water loss due to evaporation which reaches 90-95% of the total water loss in the reservoir. The problem that is often faced with evaporation data is the lack of data availability. To overcome these problems, the GLDAS-2.1 and CFS-V2 satellites have the ability to estimate evaporation on the surface. The satellite has a high spatial and temporal resolution, wide-area coverage, near real-time data and recorded continuously, fast accessibility, and economical. However, satellite data can be used if it has a strong coherence with the observation data. The purpose of this research is to evaluate the suitability of the evaporation data from the GLDAS-2.1 and CFS-V2 satellites to the observational evaporation data and to recommend which satellite is appropriate for estimating evaporation so that it can be used as an alternative to the availability of evaporation data in the Wonorejo Reservoir. The evaluation carried out in this study uses statistical analysis at the Wonorejo Geophysical Station. Results of data calibration on the GLDAS-2.1 and CFS-V2 satellite produce a correction factor in the form of a polynomial regression equation. At

the validation stage, the RMSE, NSE, R, and KR values showed better results that were initially 21% before being corrected, increasing to 79%. GLDAS-2.1 is still being recommended compares with CFS-V2, because it produces much better NSE and R2 values with percentage of 100%.

Kutipan: Amelia, E., D., Wahyuni, S., & Harisuseno, D. (2021). Evaluasi Kesesuaian Data Satelit sebagai Alternatif Ketersediaan Data Evaporasi di Waduk Wonorejo. *Jurnal Teknik Pengairan*. <https://doi.org/10.21776/ub.pengairan.2021.012.02.05>

1. Pendahuluan

Perubahan iklim memberikan konsekuensi terhadap perilaku variabel-variabel dalam siklus hidrologi yang ditunjukkan dengan adanya potensi terjadinya bencana kekeringan dan banjir. Kedua bencana meteorologi tersebut sangat tergantung dari variasi klimatologi serta adanya dinamika perubahan tutupan lahan pada sebuah DAS (Harisuseno, D., 2020). Evaporasi sebagai bagian dari siklus hidrologi memiliki peranan penting dalam proses iklim, atmosfer dan pertanian lokal (Ramamurthy & Bou-Zeid, 2014) serta berperan penting dalam memperkirakan debit sungai, besarnya kapasitas waduk, besarnya kapasitas pompa untuk irigasi, penggunaan konsumtif (*consumptive use*) untuk tanaman dan lain-lain (Soemarto, 1986).

Informasi prediksi iklim sangat penting untuk mendukung kelancaran operasional berbagai sektor (Putra, et al., 2017). Pembangunan beberapa infrastruktur Sumber Daya Air seperti waduk menjadi salah satu bentuk upaya pemerintah untuk mengoptimalkan dan mengembangkan sektor pertanian yang merupakan sumber kehidupan bagi penduduk di Indonesia. Input data evaporasi merupakan faktor penting dalam strategi pengelolaan sumber daya air karena mempengaruhi kesetimbangan air (*water balance*), penentuan masa dan pola tata tanam, manajemen sumber daya air dan banjir (Halimatussadiyah, S., et al., 2019). Selain itu, menurut Khobragade et al., (2016) informasi evaporasi waduk juga penting untuk mengetahui signifikansi kehilangan air akibat evaporasi. Hilangnya air akibat evaporasi dapat mencapai 90-95% dari total kehilangan air danau atau waduk (Khobragade et al., 2016). Meninjau hal tersebut, ketersediaan akan data evaporasi dengan kualitas dan kuantitas tinggi menjadi kebutuhan yang sangat penting.

Pada umumnya, jumlah stasiun pengukuran di wilayah waduk yang luas masih sangat terbatas, sehingga informasi evaporasi secara spasial dan temporal masih minim (Adjit, V., et al., 2019). Oleh sebab itu, studi mengenai estimasi evaporasi diperlukan (Suwarman, R., et al., 2018). Kendala dan permasalahan ketersediaan data yang masih sering dihadapi adalah data yang tidak cukup panjang dan tidak lengkap, stasiun penakar terbatas, kurangnya tenaga pengamat, kesalahan saat pengukuran dan pembacaan alat ukur (*human error*), sulitnya memperoleh data pengamatan yang cepat dan rusaknya alat ukur.

Terkait dengan permasalahan tersebut, maka teknologi *remote sensing* (satelit) menjadi terobosan baru dalam mengatasi permasalahan ketersediaan data evaporasi tersebut. Satelit tersebut diantaranya GLDAS-2.1 dan CFS-V2 yang memiliki kemampuan dalam mengestimasi data evaporasi di permukaan dengan menampilkan informasi data *near realtime*, resolusi spasial dan temporal yang tinggi, akses cepat dan ekonomis karena dapat diakses secara gratis dimana saja dan kapan saja.

Mamenun, et al., (2014) dalam kajiannya menjelaskan bahwa penggunaan data satelit perlu dilakukan validasi dan koreksi dengan data observasi permukaan agar dapat dievaluasi sejauh mana keakuratan keluaran data satelit terhadap data observasi di permukaan, sehingga pada tahap analisis lanjutan galat pada data satelit dapat dikurangi dan data dapat diandalkan (Maulana, H., et al., 2019).

Rodell et al., (2004) melakukan suatu kajian mengenai satelit GLDAS-2.1 dimana memiliki kemampuan dalam menghasilkan ekstraksi data evaporasi permukaan air (*canopy surface water evaporation*). Sementara itu, CFS-V2 mampu memberikan informasi dasar yang berguna untuk berbagai studi literatur seperti perkiraan banjir, kekeringan dan pengelolaan sumber daya air lainnya (Saha, et al., 2014). Pemanfaatan satelit GLDAS-2.1 dan CFS-V2 pada penelitian ini berdasarkan ketersediaan data evaporasi yang dihasilkan terutama di area waduk sehingga memiliki keandalan dalam mengestimasi evaporasi yang terjadi di permukaan pada area waduk. Namun, dari kajian-kajian tersebut masih belum ditemukan adanya pembahasan yang fokus mengenai keandalan satelit tersebut dalam merepresentasikan evaporasi pada wilayah tropis khususnya di Benua Maritim

Indonesia (BMI). Lau W. K. M., and Waliser D. E. (2005) dalam bukunya menjelaskan bahwa pengaruh Benua Maritim Indonesia sangat signifikan terhadap dinamika atmosfer di wilayah tropis seperti sirkulasi monsun Asia – Australia, *Madden Julian Oscillation* (MJO), dan proses terjadinya *El Nino Southern Oscillation* (ENSO). Seperti diketahui bahwa suatu satelit dalam melakukan pengestimasi data dengan mempertimbangkan komponen yang berada di atmosfer.

Pada penelitian ini, proses evaluasi data satelit dilakukan menggunakan analisa statistik dengan input data satelit serta menentukan satelit mana yang terbaik untuk daerah waduk. Dalam studi ini, lokasi Waduk Wonorejo dipilih sebagai lokasi studi karena peran dan fungsi dari waduk ini sangat penting untuk keperluan berbagai bidang, seperti ketersediaan air, pangan, energi dan pariwisata. Data evaporasi acuan didapatkan dengan melakukan pengamatan menggunakan panci terbuka standar yaitu *Class A pan* pada satu titik di area waduk tepatnya Stasiun Geofisika Wonorejo.

Tujuan penelitian ini adalah untuk melakukan evaluasi kesesuaian data evaporasi satelit GLDAS-2.1 dan CFS-V2 terhadap data evaporasi pengamatan pada skala bulanan dan merekomendasikan satelit mana yang cocok dalam mengestimasi evaporasi yang terjadi sehingga dapat dimanfaatkan sebagai alternatif ketersediaan data evaporasi di Waduk Wonorejo.

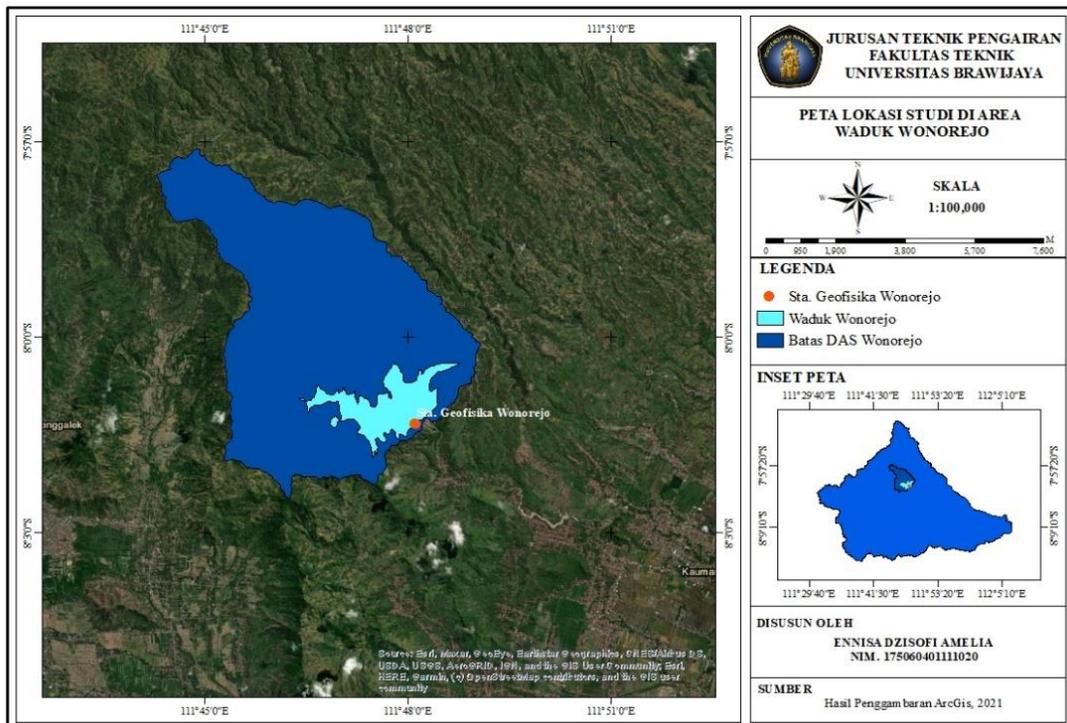
2. Bahan dan Metode

2.1. Bahan

2.1.1. Lokasi Studi

Waduk Wonorejo terletak di Desa Wonorejo, Kecamatan Pagerwojo, Kabupaten Tulungagung, Provinsi Jawa Timur, berada 15 km sebelah barat dari pusat Kota Tulungagung. Secara astronomis Waduk Wonorejo terletak pada titik koordinat $8^{\circ}00'57,09''$ LS dan $111^{\circ}48'00,79''$ BT. Pasokan air pada Waduk Wonorejo didapatkan dari induk sungai (Kali Gondang) dan anak sungai (Kali Wangi) dengan luas daerah aliran sungai sebesar $126,3 \text{ km}^2$.

Proses evaluasi data satelit terhadap data stasiun penakar (*ground station*) dilakukan pada 1 titik lokasi tepatnya Stasiun Geofisika Wonorejo yang berjarak $\pm 0,47 \text{ km}$ dari lokasi Bendungan Wonorejo. Gambar 1 menunjukkan hasil tangkapan citra satelit yang diolah menggunakan ArcGIS 10.3.1 berupa titik lokasi studi perolehan data evaporasi pada Stasiun Geofisika Wonorejo tepatnya di area Waduk Wonorejo.



Gambar 1. Lokasi Studi Stasiun Geofisika Wonorejo di Area Waduk Wonorejo

2.1.2. Data

Data yang digunakan dalam studi ini diantaranya:

1. Data titik koordinat Stasiun Geofisika Wonorejo. Data ini diperoleh dari website <https://karangploso.jatim.bmkg.go.id/> dan Perum Jasa Tirta I.
2. Data evaporasi pengukuran periode bulanan selama 15 tahun (2005-2019). Data ini didapatkan dari Perum Jasa Tirta I.
3. Data evaporasi satelit CFS-V2 (Potential Evaporation Rate surface 6 Hour Average) dan GLDAS-2.1 (PotEvap_tavg) selama 15 tahun (2005-2019). Data evaporasi satelit ini dapat diakses secara gratis pada website resmi *Google Earth Engine* (GEE) melalui <https://earthengine.google.com/>.

2.2. Metode Pengerjaan

Metode pengerjaan dalam studi ini dilakukan dengan beberapa tahap antara lain:

1. Menentukan titik koordinat lokasi stasiun penakar. Alternatif lain untuk memperoleh data ini selain survei ke lapangan adalah dengan memanfaatkan Lokasi Penakar Manual Observasi pada website dari BMKG di masing-masing provinsi.
2. Menentukan rentang data yang akan digunakan dalam analisa melalui ketersediaan pada data pengukuran dan data satelit.
3. Mengumpulkan data evaporasi pengukuran (*ground station*) di area yang akan ditinjau. Data ini bisa diperoleh dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) atau dari instansi yang terkait.
4. Data GLDAS-2.1 yang digunakan adalah data GLDAS-2.1 dengan bands PotEvap_tavg untuk resolusi temporal 3 jam dan resolusi spasial $0,25^\circ$. Sedangkan data CFS-V2 yang digunakan adalah data CFS-V2 dengan bands Potential Evaporation Rate surface 6 Hour Average untuk resolusi temporal 6 jam dan resolusi spasial $0,2^\circ$.
5. Melakukan konversi data evaporasi pengukuran menjadi evaporasi waduk. Evaporasi dari hasil pengukuran panci kelas A harus dikalikan dengan koefisien panci sebesar 0,7 (Soewarno, 2015). Melakukan konversi data evaporasi satelit yang awalnya berupa evaporasi potensial (W/m^2) dikonversi menjadi evaporasi waduk (mm) dengan mengkalikan koefisien sebesar 0,5.

$$EV_{waduk} = K \times EV_{panci} \quad (1)$$
6. Suatu data hidrologi yang didapatkan dari hasil pengukuran atau pengestimasi besar kemungkinan mengandung kesalahan (*error*) yang disebabkan oleh beberapa faktor. Hal inilah yang mendasari bahwa pentingnya melakukan analisa kualitas data statistik berupa data deret berkala ini seperti data evaporasi. Uji kualitas data ini diantaranya yaitu uji konsistensi dan uji stasioner atau homogenitas. Menguji kualitas data melalui Uji Konsistensi dan Uji Stasioner (Uji-F dan Uji-t). Pada data evaporasi pengukuran dan evaporasi satelit Uji Konsistensi menggunakan Metode RAPS (*Rescaled Adjusted Partial Sums*). Uji Konsistensi bertujuan untuk menguji kebenaran suatu data apakah dipengaruhi oleh kesalahan saat pengiriman atau pengukuran. Sedangkan Uji Kualitas data dilakukan untuk menguji kestabilan dan homogenitas dari nilai varian (Uji-F) dan nilai rata-rata varian (Uji-t) pada suatu deret berkala.
7. Menentukan pembagian rentang data yang akan disimulasikan pada analisa kalibrasi dan validasi dari data evaporasi yang tersedia (Rakhmawati, D.D., et al., 2019). Pada Tabel 1 menunjukkan hasil penentuan berupa 4 (empat) proses simulasi yang akan dilakukan pada model kalibrasi dan validasi.

Tabel 1. Pembagian Rentang Data Proses Evaluasi Kesesuaian Data Satelit

Evaluasi	Kalibrasi		Validasi	
I	10 th	2005-2014	5 th	2015-2019
II	12 th	2005-2016	3 th	2016-2019
III	13 th	2005-2017	2 th	2018-2019
IV	14 th	2005-2018	1 th	2019

8. Melakukan tahapan validasi data satelit periode bulanan.

Proses validasi dibagi menjadi 2 (dua) yaitu validasi data tidak terkoreksi dan validasi data terkoreksi. Tahapan ini merupakan proses pengujian data evaporasi satelit terhadap data evaporasi pengukuran dengan periode bulanan untuk mengetahui keandalan dari data evaporasi satelit.

Menurut Indarto (2012), secara kuantitatif keandalan model dalam mereproduksi kejadian alam dinilai secara statistik dengan berbagai parameter. Satu atau beberapa fungsi objektif umumnya digunakan untuk mengukur secara kuantitatif tingkat kesalahan antara data terukur dan termodelkan. Fungsi objektif tersebut diantaranya:

1) *Root Mean Square* (RMSE)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - Q_i)^2}{N}} \quad (2)$$

2) *Nash-Sutcliffe Efficiency* (NSE)

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - Q_i)^2}{\sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P})^2} \quad (3)$$

3) Koefisien Korelasi

$$R = \frac{N \sum_{i=1}^N P_i Q_i - \sum_{i=1}^N P_i \times \sum_{i=1}^N Q_i}{\sqrt{N \sum_{i=1}^N P_i^2 - (\sum_{i=1}^N P_i)^2} \sqrt{N \sum_{i=1}^N Q_i^2 - (\sum_{i=1}^N Q_i)^2}} \quad (4)$$

4) Kesalahan Relatif

$$KR = \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - Q_i)}{\sum_{i=1}^N P_i} \times 100\% \quad (5)$$

Keterangan:

P_i = data observasi (data sebenarnya)

Q_i = data perkiraan (data hasil estimasi)

N = jumlah data

Nilai RMSE dan Kesalahan Relatif menunjukkan tingginya tingkat keandalan satelit ketika nilainya mendekati 0. Sedangkan nilai NSE dan Koefisien Korelasi ketika menunjukkan nilai mendekati 1 maka tingkat keandalan satelit tersebut tinggi dimana untuk kedua indikator ini memiliki kuantifikasi parameter yang jelas seperti pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Kriteria Nilai *Nash-Sutcliffe Efficiency* (NSE)

Nilai NSE	Interpretasi
$NSE > 0,75$	Baik
$0,36 < NSE < 0,75$	Memenuhi
$NSE < 0,36$	Tidak Memenuhi

Sumber: Motovilov.et al.1999

Tabel 3. Kriteria Nilai Koefisien Korelasi

Nilai R	Interpretasi
0 – 0,19	Sangat Rendah
0,20 – 0,39	Rendah
0,49 – 0,59	Sedang
0,60 – 0,79	Kuat
0,80 - 1	Sangat Kuat

Sumber: Sugiyono. 2003

9. Melakukan tahapan kalibrasi data periode bulanan untuk menentukan faktor koreksi.

Pengolahan data dengan komputer akan menghasilkan persamaan regresi linier dari kedua variabel yang dibandingkan, dan kemudian dapat digunakan sebagai persamaan koreksi. Koherensi dari suatu kalibrasi dapat dilihat dari hasil *scatter-plot* (Rahma, N.F., et al., 2019)

Konsistensi pola lengkung atau kecenderungan naik turun dua data yang dibandingkan tersebut dapat menjadi satu identifikasi dalam menyimpulkan kualitas data (Krisnayanti, Denik Sri, 2019). Bentuk persamaan regresi terpilih ditentukan dari nilai koefisien determinasi (R^2) tertinggi yang dihasilkan pada masing-masing persamaan (Harisuseno, D. & Cahya, E.N., 2020). Beberapa alternatif analisis regresi yang umum digunakan dalam analisis data hidrologi diantaranya adalah model regresi (Soewarno, 1995):

$$1) \text{ Model Regresi Eksponensial} \quad \hat{Y} = be^{ax} \quad (6)$$

$$2) \text{ Model Regresi Linear Sederhana} \quad \hat{Y} = a_1X + b_1 \quad (7)$$

$$3) \text{ Model Regresi Logaritmik} \quad \hat{Y} = b + a \log X \quad (8)$$

$$4) \text{ Model Regresi Polinomial} \quad Y = b_0 + b_1X + b_2X^2 + b_3X^3 + \dots + b_mX^m \quad (9)$$

$$5) \text{ Model Regresi Berpangkat} \quad \hat{Y} = bX^a \quad (10)$$

Proses koreksi data satelit dilakukan dengan memasukkan data satelit ke dalam persamaan regresi terpilih. Persamaan terpilih pada tahap kalibrasi ini akan digunakan pada tahap validasi data terkoreksi dengan rentang data validasi data terkoreksi. Selain itu, akan dihitung dan dibandingkan nilai R^2 dan NSE pada tahap kalibrasi dan tahap validasi dari persamaan terpilih untuk mengetahui tingkat validitas dari persamaan terpilih.

10. Menentukan satelit evaporasi yang direkomendasikan.

Membandingkan dan mencari prosentase tingkat mendominasi dari nilai R^2 dan NSE pada satelit GLDAS-2.1 dan CFS-V2 yang didapatkan pada tahap validasi data terkoreksi.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pengumpulan Data

Lokasi pengambilan data pengukuran dan data evaporasi satelit pada penelitian ini di Stasiun Geofisika Waduk Wonorejo. Secara astronomis terletak di $111^\circ 48' 06,88''$ BT dan $08^\circ 01' 19,34''$ LS. Ketersediaan data evaporasi berupa data bulanan sehingga proses pengolahan data menggunakan periode data bulanan dengan rentang data 15 tahun (2005-2019). Data evaporasi pengukuran pada penelitian ini diperoleh dari Perum Jasa Tirta I. Sedangkan data evaporasi satelit diperoleh melalui proses pengunduhan data di *Google Earth Engine* (GEE). Dilakukan konversi data pengukuran dan satelit sebelum dilakukan pengolahan data seperti yang telah dijelaskan sebelumnya.

3.2. Analisa Kualitas Data

Tabel 4 menunjukkan rekapitulasi hasil uji konsistensi pada data evaporasi pengukuran dan satelit dengan Metode RAPS. Sedangkan pada Tabel 5 menunjukkan rekapitulasi hasil uji stasioner pada data evaporasi pengukuran dan satelit diantaranya terdapat Uji-F dan Uji-t.

Tabel 4. Rekapitulasi Hasil Analisa Uji RAPS Data Evaporasi

Jenis Data Evaporasi	Periode	A	$Q/n^{0,5}$	$R/n^{0,5}$	Q_{kritis}	R_{kritis}	Keterangan
Evaporasi Pengukuran	Bulanan	5 %	0,42	0,77	1,36	1,75	Konsisten
CFS-V2	Bulanan	5 %	0,42	0,61	1,36	1,75	Konsisten
GLDAS-2.1	Bulanan	5 %	0,43	0,70	1,36	1,75	Konsisten

Berdasarkan Tabel 4 dapat dilihat bahwa, uji konsistensi data evaporasi dari pengukuran, CFS-V2 dan GLDAS-2.1 menggunakan Uji RAPS menunjukkan hasil yang konsisten pada derajat

kepercayaan 5%. Dimana didapatkan bahwa secara keseluruhan data evaporasi memenuhi batas toleransi atau syarat uji sehingga bersifat konsisten.

Tabel 5. Rekapitulasi Hasil Analisa Uji Stasioner Data Evaporasi

Jenis Data	Periode	A	Uji-F	Uji-t	Keterangan
Evaporasi Pengukuran	Bulanan	5 %	Stabil	Stabil	Homogen
CFS-V2	Bulanan	5 %	Stabil	Stabil	Homogen
GLDAS-2.1	Bulanan	5 %	Stabil	Tidak Stabil	Tidak Homogen

Pada Tabel 5 satelit GLDAS-2.1 menunjukkan hasil yang tidak homogen pada Uji-t untuk derajat kepercayaan 5%. Telah dilakukan alternatif lain dengan menurunkan derajat kepercayaan menjadi 1% masih menunjukkan hasil yang tidak stabil. Maka hal tersebut dianggap terdapat kesalahan yang diakibatkan pada faktor alam sehingga mengganggu kualitas dari hasil pengestimasi data evaporasi. Namun, GLDAS-2.1 tetap dapat dimanfaatkan untuk analisa hidrologi lanjutan. Hal tersebut dikarenakan pada proses uji kualitas data sebelumnya (Uji RAPS dan Uji-F) satelit GLDAS-2.1 menunjukkan hasil yang konsisten dan homogen.

3.3. Validasi Data Tidak Terkoreksi

Pada tahap ini, bertujuan untuk menilai keandalan dari satelit sebelum dikoreksi dalam mengestimasi evaporasi yang terjadi di permukaan yakni dengan menggunakan seperangkat nilai hasil analisa statistik. Kriteria statistik disini berupa fungsi objektif diantaranya *Root Mean Squared Error* (RMSE), *Nash-Sutcliffe Efficiency* (NSE), Koefisien Korelasi (R) dan Kesalahan Relatif (KR).

Data evaporasi baik dari pengukuran dan satelit pada setiap titik lokasi pengambilan data (*point source*) yang bernilai 0 (nol) pada tahap ini diabaikan (data dengan nilai “nol” dihilangkan). Menurut Indarto (2012), pada umumnya validasi dilakukan menggunakan data diluar rentang data yang digunakan pada tahap kalibrasi.

Tabel 6. Rekapitulasi Hasil Analisa Validasi Data Satelit Tidak Terkoreksi

Jenis Satelit	Rentang Data	RMSE	KR	NSE		R	
				Nilai	Interpretasi	Nilai	Interpretasi
CFS-V2	15 Tahun	61,04	0,655	-12,257	Tidak Memenuhi	0,482	Sedang
	3 Tahun	53,99	0,553	-14,841	Tidak Memenuhi	0,874	Sangat Kuat
	2 Tahun	60,63	0,617	-18,182	Tidak Memenuhi	0,904	Sangat Kuat
	1 Tahun	68,48	0,692	-23,754	Tidak Memenuhi	0,947	Sangat Kuat
GLDAS-2.1	15 Tahun	41,02	0,471	-4,986	Tidak Memenuhi	0,515	Sedang
	3 Tahun	36,10	0,429	-6,081	Tidak Memenuhi	1,000	Sangat Kuat
	2 Tahun	37,11	0,429	-6,186	Tidak Memenuhi	1,000	Sangat Kuat
	1 Tahun	37,36	0,429	-6,367	Tidak Memenuhi	1,000	Sangat Kuat

Nilai RMSE dan KR yang mendekati nilai 0 (nol) merupakan hasil yang lebih baik karena menunjukkan tingkat kesalahan (*error*) yang rendah. Sedangkan untuk nilai NSE dan R yang mendekati nilai 1 merupakan hasil yang lebih baik karena menunjukkan tingkat keandalan yang tinggi antara data observasi dengan data yang termodelkan.

Dapat dilihat pada Tabel 6, secara keseluruhan pada parameter RMSE, KR dan NSE menunjukkan hasil yang cukup jauh dari batas toleransinya. Meninjau hal tersebut, perlu dilakukan analisa lanjutan terhadap data satelit evaporasi. Hal ini dilakukan untuk meminimalisasi tingkat kesalahan yang terjadi antara data termodelkan dengan data observasi. Analisa lanjutan yang dilakukan yaitu dengan melakukan koreksi pada data satelit sebelum dilakukan validasi dengan data observasi.

3.4. Kalibrasi

Tahap kalibrasi merupakan proses optimalisasi nilai parameter untuk meningkatkan koherensi atau ketepatan antara data termodelkan dengan data observasi. Metode kalibrasi yang banyak digunakan untuk pemodelan hujan aliran adalah metode coba-coba (*trial and error*). Hal itu

disebabkan karena proses penggunaannya cukup sederhana, cepat dan membutuhkan sedikit pengalaman bagi pemodel (Indarto, 2012).

Apabila dalam analisa regresi diperoleh model persamaan matematik yang tepat maka tahap selanjutnya ditentukan seberapa kuat pengaruh variabel termodelkan terhadap variabel acuan melalui besarnya nilai koefisien determinasi. Meninjau hal tersebut maka, persamaan regresi yang direkomendasikan sebagai faktor koreksi berdasarkan nilai koefisien determinasi tertinggi.

Tabel 7. Rekapitulasi Hasil Analisa Nilai Koefisien Determinasi (R^2) Pada Tahap Kalibrasi

Jenis Satelit	Periode Data	Rentang Data	R^2 maks	Persamaan Regresi Terpilih
GLDAS-2.1	Bulanan	10 Tahun	0,095	Polinomial
		12 Tahun	0,247	Polinomial
		13 Tahun	0,259	Polinomial
		14 Tahun	0,289	Polinomial
CFS-V2	Bulanan	10 Tahun	0,122	Berpangkat
		12 Tahun	0,170	Polinomial
		13 Tahun	0,172	Polinomial
		14 Tahun	0,194	Polinomial & Linear

Tabel 7 menunjukkan hasil persamaan terpilih sebagai faktor koreksi data satelit pada tahap kalibrasi. Dapat dilihat bahwa nilai NSE tertinggi baik pada GLDAS-2.1 dan CFS-V2 berturut-turut sebesar 0,289 dan 0,194 yang berada pada komposisi atau rentang data 14 tahun. Pada teori statistika secara umum nilai kriteria statistik akan menunjukkan hasil terbaik ketika dilakukan kalibrasi dengan komposisi data terbesar. Hal tersebut dikarenakan komposisi data yang besar mampu mewakili data yang tersedia secara keseluruhan serta mampu merepresentasikan pola yang terjadi dari populasi data yang ada. Namun jika terjadi hal sebaliknya, maka terdapat data yang memiliki kualitas rendah sehingga mengganggu pola dari populasi data dan akan menunjukkan hasil yang tidak sesuai harapan.

Persamaan ini nantinya akan digunakan untuk memperoleh data satelit terkoreksi. Selain itu, persamaan terpilih ini digunakan untuk menentukan nilai NSE pada tahap kalibrasi. Nantinya nilai NSE tersebut akan dibandingkan dengan hasil pada tahap validasi data terkoreksi untuk mengetahui tingkat validitas dari persamaan terpilih.

3.5. Validasi Data Terkoreksi

Validasi data satelit terkoreksi merupakan analisa perbandingan antara data pengukuran dengan data satelit yang telah dikoreksi melalui persamaan terpilih dari analisa regresi yang dihasilkan pada tahap kalibrasi. Analisa statistik yang dilakukan hampir sama seperti pada tahap validasi data tidak terkoreksi. Perbedaannya hanya pada input data satelit yang sudah dikoreksi dari persamaan terpilih pada tahap kalibrasi. Hasil perbandingan parameter nilai statistik yang digunakan pada masing-masing satelit untuk setiap rentang datanya disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8. Rekapitulasi Hasil Analisa Validasi Data Satelit Terkoreksi

Jenis Satelit	Periode Data	Rentang Data	Persamaan Regresi Terpilih Akhir	RMSE	KR	NSE		R	
						Nilai	Interpretasi	Nilai	Interpretasi
GLDAS-2.1	Bulanan	5 Tahun	Polinomial	12,64	0,070	0,452	Memenuhi	0,875	Sangat Kuat
		3 Tahun	Polinomial	10,17	0,091	0,438	Memenuhi	0,942	Sangat Kuat
		2 Tahun	Polinomial	9,36	0,086	0,542	Memenuhi	0,959	Sangat Kuat
		1 Tahun	Polinomial	8,11	0,078	0,652	Memenuhi	0,980	Sangat Kuat
CFS-V2	Bulanan	5 Tahun	Berpangkat	16,16	0,121	0,103	Tidak Memenuhi	0,814	Sangat Kuat
		3 Tahun	Polinomial	12,02	0,103	0,215	Tidak Memenuhi	0,870	Sangat Kuat
		2 Tahun	Polinomial	11,66	0,100	0,290	Tidak Memenuhi	0,901	Sangat Kuat
		1 Tahun	Polinomial	9,03	0,077	0,569	Memenuhi	0,947	Sangat Kuat

Berdasarkan Tabel 8 menunjukkan bahwa secara keseluruhan nilai parameter statistik yang digunakan menunjukkan hasil yang lebih baik jika dibandingkan pada tahap validasi data tidak terkoreksi. Secara keseluruhan baik satelit GLDAS-2.1 dan CFS-V2 menunjukkan nilai terbaik untuk masing-masing parameter statistik pada komposisi data 1 tahun. Hasil pada tahap ini akan dilakukan perbandingan dengan beberapa tahap sebelumnya serta dimanfaatkan dalam menentukan satelit yang direkomendasikan.

3.6. Validitas Faktor Koreksi

Tahapan yang dilakukan untuk mengetahui tingkat validitas persamaan terpilih pada tahap kalibrasi adalah dengan melakukan perbandingan terhadap hasil yang didapatkan pada tahap kalibrasi dan validasi data terkoreksi untuk nilai R^2 dan NSE. Persamaan terpilih ditetapkan pada tahap kalibrasi karena dianggap bahwa rentang data pada tahap kalibrasi lebih besar sehingga mampu mewakili data yang tersedia secara keseluruhan serta mampu merepresentasikan pola yang terjadi dari populasi data yang ada.

Tabel 9. Rekapitulasi Perbandingan Hasil Analisa Nilai R^2 dan NSE dari Data Satelit pada Tahap Kalibrasi dan Validasi

Jenis Satelit	Periode Data	Persamaan Terpilih	R^2		NSE			
			Kalibrasi	Validasi	Kalibrasi	Validasi		
GLDAS-2.1	Bulanan	Polinomial	0,095	0,818	0,095	Tidak Memenuhi	0,452	Memenuhi
		Polinomial	0,247	0,950	0,247	Tidak Memenuhi	0,438	Memenuhi
		Polinomial	0,259	0,967	0,258	Tidak Memenuhi	0,542	Memenuhi
		Polinomial	0,289	0,993	0,288	Tidak Memenuhi	0,652	Memenuhi
CFS-V2	Bulanan	Berpangkat	0,122	0,565	0,103	Tidak Memenuhi	0,103	Tidak Memenuhi
		Polinomial	0,170	0,772	0,168	Tidak Memenuhi	0,215	Tidak Memenuhi
		Polinomial	0,172	0,831	0,172	Tidak Memenuhi	0,290	Tidak Memenuhi
		Polinomial	0,194	0,898	0,194	Tidak Memenuhi	0,569	Memenuhi

Tabel 9 menunjukkan hasil yang lebih baik atau mendekati nilai 1 dari nilai R^2 dan NSE pada data evaporasi satelit tahap validasi. Jika ditinjau dalam prosentase keunggulan antara nilai R^2 dan NSE sebagai berikut:

$$\text{Kalibrasi} : \left(\frac{1}{16}\right) \times 100 = 6,25\%$$

$$\text{Validasi} : \left(\frac{15}{16}\right) \times 100 = 93,75\%$$

Dari hasil analisis, dengan total 16 data dimana 1 data (warna kuning) menunjukkan hasil yang lebih baik pada tahap kalibrasi dan 15 data (warna biru) menunjukkan hasil yang lebih baik pada tahap validasi. Jika ditinjau dalam bentuk prosentase, pada tahap kalibrasi menunjukkan sebesar 6,25% sedangkan pada tahap validasi naik menjadi sebesar 93,75%. Dapat disimpulkan bahwa persamaan terpilih yang digunakan memiliki tingkat validitas cukup tinggi dibuktikan dari hasil R^2 dan NSE menunjukkan performa dan tingkat keandalan yang jauh lebih baik dari masing-masing satelit.

3.7. Evaluasi Data Satelit Sebelum dan Setelah Terkoreksi

Untuk mengetahui proses koreksi yang dilakukan berhasil atau tidak dapat dilihat pada perbandingan hasil masing-masing nilai parameter statistik yang digunakan pada tahap validasi sebelum dan setelah data dikoreksi.

Tabel 10. Rekapitulasi Perbandingan Hasil Analisa Validasi Tidak Terkoreksi dengan Validasi Terkoreksi Pada Data Satelit

Jenis Satelit	RMSE		KR		NSE		R	
	BT	T	BT	T	BT	T	BT	T
GLDAS-2.1	36,10	12,64	0,429	0,070	-6,081	0,452	1,000	0,875
	37,11	10,17	0,429	0,091	-6,186	0,438	1,000	0,942
	37,36	9,36	0,429	0,086	-6,367	0,542	1,000	0,959
CFS-V2	53,99	8,11	0,553	0,078	-14,841	0,652	0,874	0,980
	60,63	16,16	0,617	0,121	-18,182	0,103	0,904	0,814
	68,48	12,02	0,692	0,103	-23,754	0,215	0,947	0,870

Keterangan: BT (Belum Terkoreksi); T (Terkoreksi)

Berdasarkan Tabel 10 jika ditinjau dalam besaran prosentase dari keunggulan pada hasil analisa kriteria statistik antara data yang sudah terkoreksi dan belum terkoreksi terlihat bahwa menunjukkan hasil yang lebih baik sesuai dengan batas acuan setelah data dilakukan koreksi.

Data belum terkoreksi : $\left(\frac{5}{24}\right) \times 100 = 21\%$

Data terkoreksi : $\left(\frac{19}{24}\right) \times 100 = 79\%$

Dari hasil pengolahan data, dengan total 24 data dimana 5 data (warna kuning) menunjukkan hasil yang lebih baik sebelum data terkoreksi dan 19 data (warna biru) menunjukkan hasil yang lebih baik setelah data terkoreksi. Sehingga jika ditinjau dalam prosentase menunjukkan 21% sebelum data dikoreksi dan naik menjadi 79% setelah data dikoreksi. Maka dapat disimpulkan bahwa proses koreksi data yang telah dilakukan sudah tepat.

3.8. Analisa Satelit Rekomendasi

Hasil analisa kriteria statistik yang telah dilakukan dalam studi ini menjadi salah satu landasan dalam menentukan satelit mana yang direkomendasikan dalam mengestimasi evaporasi yang terjadi di Area Waduk Wonorejo. Dalam analisa penetapan satelit yang direkomendasikan menggunakan hasil dari nilai R^2 dan NSE pada tahap validasi data terkoreksi. Untuk menunjang analisa penetapan satelit evaporasi yang direkomendasikan telah disajikan tabulasi data pada Tabel 11.

Tabel 11. Analisa Penetapan Satelit Evaporasi yang Direkomendasikan

Rentang Data	GLDAS-2.1		CFS-V2		Hasil Kriteria Statistik Terbaik			
	NSE	R^2	NSE	R^2	NSE		R^2	
5 tahun	0,452	0,818	0,103	0,565	0,443	GLDAS-2.1	0,816	GLDAS-2.1
3 tahun	0,438	0,950	0,215	0,772	0,491	GLDAS-2.1	0,950	GLDAS-2.1
2 tahun	0,542	0,967	0,290	0,831	0,405	GLDAS-2.1	0,967	GLDAS-2.1
1 tahun	0,652	0,993	0,569	0,898	0,581	GLDAS-2.1	0,991	GLDAS-2.1

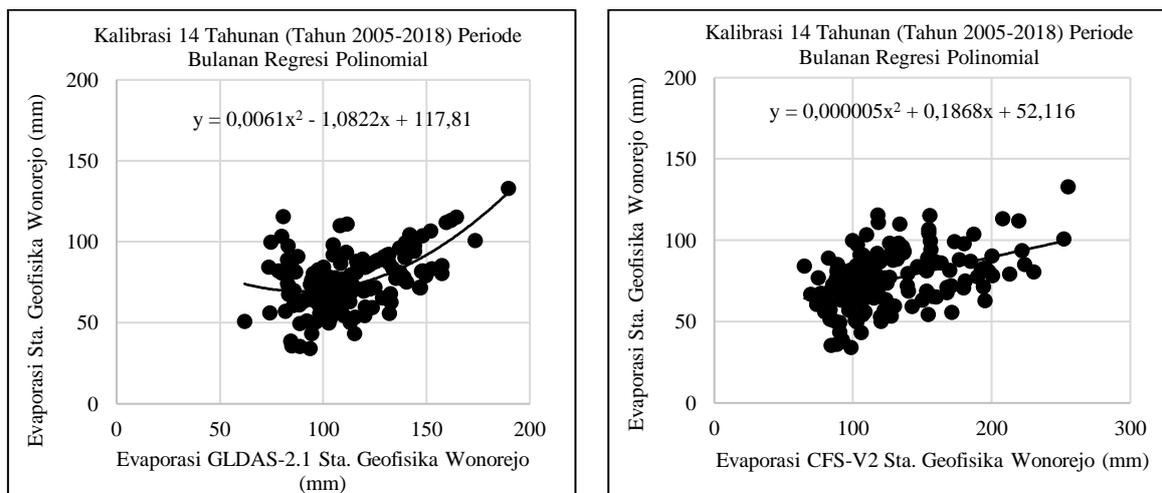
Dari hasil tabulasi data yang telah disajikan pada Tabel 11 nilai NSE dan R^2 tertinggi dihasilkan oleh satelit GLDAS-2.1. Dimana secara keseluruhan pada semua rentang data yang digunakan untuk nilai NSE dan R^2 tertinggi berada di rentang data kalibrasi 14 tahun dan validasi 1 tahun yakni dengan nilai NSE sebesar 0,581 dengan interpretasi "Memenuhi" dan nilai R^2 sebesar 0,991.

Jika kita lihat secara keseluruhan pada hasil tabulasi data diatas, satelit GLDAS-2.1 mendominasi hasil dari nilai NSE dan R^2 tertinggi pada semua rentang data validasi yang digunakan. Meskipun GLDAS-2.1 menunjukkan nilai rata-rata varian yang tidak stabil pada uji kualitas data tepatnya Uji-t namun, tingkat mendominasi dari nilai NSE dan R^2 tertinggi menunjukkan prosentase dari GLDAS-2.1 sebesar 100% jika dibandingkan dengan satelit CFS-V2. Meninjau hal tersebut, maka satelit evaporasi GLDAS-2.1 menjadi satelit yang direkomendasikan dalam mengestimasi data evaporasi di Area Waduk Wonorejo.

3.9. Persamaan Terpilih sebagai Faktor Koreksi Data

Dalam menentukan persamaan terpilih yang digunakan untuk mendapatkan data satelit terkoreksi ditentukan berdasarkan nilai R^2 dan NSE terbesar pada tahap validasi data terkoreksi.

Tahap validasi data terkoreksi dipilih dikarenakan pada tahap tersebut menunjukkan performa dan keandalan dari persamaan yang dihasilkan pada tahap kalibrasi.



Gambar 2. Hasil Analisa Kalibrasi 14 Tahun Pada Satelit GLDAS-2.1 dan CFS-V2 di Stasiun Geofisika Wonorejo

Tabel 12. Persamaan Regresi Terpilih Pada Satelit Evaporasi di Stasiun Geofisika Wonorejo

Jenis Satelit	Rentang Data		R ²	NSE		Persamaan Terpilih
	Kalibrasi	Validasi		Nilai	Interpretasi	
GLDAS-2.1	14 Tahun	1 Tahun	0,993	0,652	Memenuhi	Polinomial $0,0061x^2 - 1,0822x + 117,81$
CFS-V2	14 Tahun	1 Tahun	0,898	0,569	Memenuhi	Polinomial $0,000005x^2 + 0,18689x + 52,116$

Pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa pola populasi data observasi dan data satelit menunjukkan pola yang saling mendekati. Sehingga hal tersebut menunjukkan bahwa data observasi dengan data satelit memiliki hubungan yang sangat erat. Pada Tabel 12 menunjukkan rekapitulasi bahwa persamaan regresi polinomial terpilih sebagai faktor koreksi pada data evaporasi satelit GLDAS-2.1 dan CFS-V2 di Stasiun Geofisika Wonorejo. Dari hasil analisa ini, menunjukkan bahwa komposisi data kalibrasi 14 tahun dan validasi 1 tahun menunjukkan hasil terbaik dibandingkan komposisi data lain yang digunakan sehingga dianggap bahwa hasil analisa ini sesuai dengan teori statistika umum yang kita ketahui. Namun, tidak semua analisa pada tahap ini akan menghasilkan persamaan polinomial sebagai persamaan terpilih sebagai faktor koreksi. Hal tersebut dapat dikarenakan input data dari lokasi yang berbeda atau input data dengan kualitas yang berbeda sehingga akan menunjukkan pola dari populasi data yang berbeda dan akan menghasilkan output persamaan terpilih yang berbeda.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil evaluasi kesesuaian data yang telah dilakukan menggunakan analisa statistik, didapatkan bahwa satelit evaporasi GLDAS-2.1 dan CFS-V2 menunjukkan hasil yang beragam. Pada satelit GLDAS-2.1 menunjukkan hasil dengan nilai terbaik pada nilai parameter statistik R², RMSE, NSE, KR dan R berturut-turut sebesar 0,993; 8,11; 0,652; 0,078; 0,980 pada komposisi kalibrasi 14 tahun dan validasi 1 tahun. Sedangkan satelit CFS-V2 menunjukkan hasil dengan nilai terbaik pada nilai parameter statistik R², RMSE, NSE, KR dan R berturut-turut sebesar 0,898; 9,03; 0,569; 0,077; 0,947 pada komposisi kalibrasi 14 tahun dan validasi 1 tahun.

Analisa pada penentuan satelit yang direkomendasikan menunjukkan bahwa baik satelit GLDAS-2.1 dan CFS-V2 mampu merepresentasikan evaporasi yang terjadi di Waduk Wonorejo. Namun, dari hasil analisa statistik yang telah dilakukan satelit GLDAS-2.1 menunjukkan tingkat keandalan yang lebih tinggi dengan prosentase 100% jika dibandingkan dengan satelit CFS-V2. Sehingga satelit GLDAS-2.1 direkomendasikan dalam mengestimasi evaporasi yang terjadi di Waduk Wonorejo.

Ucapan terima kasih

Ucapan terima kasih kepada Perum Jasa Tirta I & BMKG Karangploso yang telah memberikan akses data titik koordinat & data evaporasi pengukuran Stasiun Geofisika Wonorejo 2005-2019.

Daftar Pustaka

- C. D. Soemarto. Ir. B.I.E. DIPL.H. 1986. *Hidrologi Teknik*. Surabaya: Usaha Nasional.
- Halimatussadiyah, Siire, Donny Harisuseno, and Riyanto Haribowo. 2019. "Analisis Evapotranspirasi Rujukan Dengan Rumus Empiris Di Stasiun Klimatologi Klas II Karangploso Malang." *Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Pengairan* 2(2).
<http://pengairan.studentjournal.ub.ac.id/index.php/jmtp/article/view/332>.
- 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(IV-VI): 29-41.
- Harisuseno, Donny. 2020. "Meteorological Drought and Its Relationship with Southern Oscillation Index (SOI)." *Civil Engineering Journal* 6(10): 1864-75
- Harisuseno, Donny, and Evi Nur Cahya. 2020. "Determination of Soil Infiltration Rate Equation based on Soil Properties Using Multiple Linear Regression." *Journal of Water and Land Development* 47(1). <https://doi.org/10.24425/jwld.2020.135034>
- Indarto. 2012. *Hidrologi Dasar Teori dan Contoh Aplikasi Model Hidrologi*. Jakarta: Bumi Aksara.
- Khobragade, S.D., Prabhat Semwal, A.R.S. Kumar, and H. C. Nainwal. 2016. "Significance of Evaporation in Water Availability of Shallow Sub-tropical Lake in India." *Octa Journal of Environmental Research*, 4(3): 252-263.
- Krisnayanti, Denik Sri. 2019. "Evaluasi Kesesuaian Data Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) dengan Data Pos Hujan pada DAS Temef di Kabupaten Timor Tengah Selatan." *Jurnal Sumber Daya Air* Vol. 16 No. 1. P. 51-62.
- Lau W. K. M., and Waliser D. E. 2005. *Intraseasonal Variability in the Atmosphere-Ocean Climate System*. New York: Springer-Verlag.
- Mamenun. 2014. "Validasi dan Koreksi Data Satelit TRMM pada Tiga Pola Hujan di Indonesia." *Jurnal Meteorologi dan Geofisika* Vol. 15 No. 1. P.13-23.
- Putra, I Dewa G. A. P., Jose Rizal, Ardhasena Sopaheluwakan, Eko Heryanto, and Ferdika Amsal Harapan. 2017. "Penggunaan Model CFSV2-WRF 3.9.1 untuk Memprediksi Pola Spasial Sebaran Hujan di Indonesia (Prediksi Bulan September, Oktober dan November Tahun 2017)." In *Seminar Nasional Geomatika 2017: Inovasi Teknologi Penyediaan Informasi Geospasial untuk Pembangunan Berkelanjutan*, 265-272.
- Rahma, Novi F., Ery Suhartanto, and Donny Harisuseno. (2019). "Validasi Data Curah Hujan TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) dengan Pos Stasiun Hujan di Sub DAS Sumber Brantas." *Jurnal Mahasiswa Teknik Pengairan Universitas Brawijaya* 2(2), 2.
- Rakhmawati, Dinia Dwi, Donny Harisuseno, and Ery Suhartanto. 2019. "Analisa Evapotranspirasi Rujukan (ETo) Dengan Rumus Empiris Di Stasiun Meteorologi Klas I Juanda Surabaya." *Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Pengairan* 2(2).
- Ramamurthy, P., and E. Bou-Zeid. 2014. "Contribution of Impervious Surfaces to Urban Evaporation." *Water Resources Reseach* 50(4).
- Rodel, M., P.R. Houser, U. Jambor, J. Gottschalck, K. Mitchell, C. -J. Meng, K. Arsenault, B. Cosgrove, J. Radakovich, M. Bosilovich, J. K. Entin, J. P. Walker, D. Lohmann, and D. Toll. 2004. "The Global Land Data Assimilation System." *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 85 (3): 381-394.
- Saha, S., S. Nadiga, C. Thiaw, J. Wang, W. Wang, Q. Zhang, H. M. van den Dool, H.-L. Pan, S. Moorthi, D. Behringer, D. Stokes, M. Pena, S. Lord, G. White, W. Ebisuzaki, P. Peng., and P. Xie. 2014. "The NCEP Climate Forecast System." *Journal of Climate* Vol. 19 No. 15 P.3483-3517.
- Soewarno. 1995. *Hidrologi Aplikasi Metode Statistik untuk Analisa Data Jilid 2*. Bandung: Nova.
- Soewarno. 2015. *Seri Hidrologi Klimatologi*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Suwarman, Rusmawan, Dinda Mahardita, and I Dewa Gede A. Junnaedhi. 2018. "Aplikasi Satelit dalam Mengestimasi Evaporasi di Daerah Waduk (Studi Kasus: Waduk Saguling-Jawa Barat)." *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca* Vol. 19 No. 2 P.61-68.