

## KALIBRASI DATA HUJAN SATELIT TERHADAP *GROUND* UNTUK ANALISIS DEBIT BANJIR DI KALI PEPE, SURAKARTA

Alexander Reinhard Sinaga<sup>1</sup>, Rintis Hadiani<sup>2</sup>, Solichin<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Fakultas Teknik, Prodi Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

E-mail: [alex.reins7303@student.uns.ac.id](mailto:alex.reins7303@student.uns.ac.id)

<sup>2</sup>Pengajar Fakultas Teknik, Prodi Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

E-mail: [rintis@ft.uns.ac.id](mailto:rintis@ft.uns.ac.id)

<sup>3</sup>Pengajar Fakultas Teknik, Prodi Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

E-mail: [solichin@ft.uns.ac.id](mailto:solichin@ft.uns.ac.id)

Jalan Ir. Sutami 36A, Surakarta 57126; Telp. 0271-634524

### Abstrak

Kali Pepe yang berada di Kota Surakarta merupakan bagian dari Daerah Aliran Sungai (DAS) Bengawan Solo yang sering mengalami banjir akibat curah hujan tinggi, perubahan tata guna lahan, dan sistem drainase yang kurang optimal. Penelitian ini bertujuan untuk mengkalibrasi data hujan satelit PERSIANN terhadap data hujan lapangan (*ground*) untuk meningkatkan akurasi dalam analisis debit banjir periode ulang di Kali Pepe, Surakarta. Studi ini menggunakan data hujan dari 3 stasiun hujan yaitu Baki, Pabelan dan Mojolaban. Kalibrasi dilakukan menggunakan metode regresi linear dan algoritma Random Forest untuk meminimalkan bias pada data hujan satelit. Data hujan yang terkalibrasi digunakan untuk menganalisis debit banjir periode ulang dengan metode HSS Gama 1 dan HSS Limantara. Dari penelitian ini diharapkan memperoleh debit banjir periode ulang  $Q_2$ ,  $Q_5$ ,  $Q_{10}$ ,  $Q_{25}$ ,  $Q_{50}$ ,  $Q_{100}$ ,  $Q_{200}$ , dan  $Q_{1000}$  dari data hujan satelit terkalibrasi dan data hujan *ground*. Berdasarkan hasil analisis, data hujan satelit PERSIANN yang telah dikalibrasi dengan metode HSS Gama 1 menghasilkan debit banjir  $Q_2$  sebesar 47,07 m<sup>3</sup>/detik,  $Q_5$  sebesar 51,82 m<sup>3</sup>/detik,  $Q_{10}$  sebesar 54,97 m<sup>3</sup>/detik,  $Q_{25}$  sebesar 58,94 m<sup>3</sup>/detik,  $Q_{50}$  sebesar 61,89 m<sup>3</sup>/detik,  $Q_{100}$  sebesar 64,82 m<sup>3</sup>/detik,  $Q_{200}$  sebesar 67,74 m<sup>3</sup>/detik, dan  $Q_{1000}$  sebesar 74,49 m<sup>3</sup>/detik. Dengan metode HSS Limantara, diperoleh debit banjir  $Q_2$  sebesar 26,27 m<sup>3</sup>/detik,  $Q_5$  sebesar 28,99 m<sup>3</sup>/detik,  $Q_{10}$  sebesar 30,79 m<sup>3</sup>/detik,  $Q_{25}$  sebesar 33,07 m<sup>3</sup>/detik,  $Q_{50}$  sebesar 34,76 m<sup>3</sup>/detik,  $Q_{100}$  sebesar 36,43 m<sup>3</sup>/detik,  $Q_{200}$  sebesar 38,10 m<sup>3</sup>/detik, dan  $Q_{1000}$  sebesar 41,97 m<sup>3</sup>/detik.

Kata kunci: Kali Pepe, PERSIANN, Hujan Satelit, Kalibrasi, Debit Periode Ulang

### Abstract

Pepe River in Surakarta City is part of the Bengawan Solo River Basin (DAS) which often experiences flooding due to high rainfall, changes in land use, and less than optimal drainage systems. This study aims to calibrate PERSIANN satellite rainfall data against ground rainfall data to improve accuracy in the analysis of flood discharge with return periods in Pepe River, Surakarta. This study uses rainfall data from 3 rainfall stations, namely Baki, Pabelan, and Mojolaban. Calibration is carried out using the linear regression method and the Random Forest algorithm to minimize bias in satellite rainfall data. The calibrated data is used to analyze flood discharge with the HSS Gama 1 and HSS Limantara methods. From this study, it is expected to obtain flood discharge with return periods  $Q_2$ ,  $Q_5$ ,  $Q_{10}$ ,  $Q_{25}$ ,  $Q_{50}$ ,  $Q_{100}$ ,  $Q_{200}$ , and  $Q_{1000}$  from calibrated satellite rainfall data and ground rainfall data. Based on the analysis results, PERSIANN satellite rainfall data has been calibrated using the HSS Gama 1 method produces a flood discharge of  $Q_2$  was obtained at 47,07 m<sup>3</sup>/second,  $Q_5$  at 51,82 m<sup>3</sup>/second,  $Q_{10}$  at 54,97 m<sup>3</sup>/second,  $Q_{25}$  at 58,94 m<sup>3</sup>/second,  $Q_{50}$  at 61,89 m<sup>3</sup>/second,  $Q_{100}$  at 64,82 m<sup>3</sup>/second,  $Q_{200}$  at 67,74 m<sup>3</sup>/second, and  $Q_{1000}$  at 74,49 m<sup>3</sup>/second. With HSS Limantara method, the flood discharge  $Q_2$  was obtained at 26,27 m<sup>3</sup>/second,  $Q_5$  at 28,99 m<sup>3</sup>/second,  $Q_{10}$  at 30,79 m<sup>3</sup>/second,  $Q_{25}$  at 33,07 m<sup>3</sup>/second,  $Q_{50}$  at 34,76 m<sup>3</sup>/second,  $Q_{100}$  at 36,43 m<sup>3</sup>/second,  $Q_{200}$  at 38,10 m<sup>3</sup>/second, dan  $Q_{1000}$  at 41,97 m<sup>3</sup>/second.

Keywords: Pepe River, PERSIANN, Satellite Rain, Calibration, Return Period Discharge

## 1. PENDAHULUAN

Kali Pepe merupakan bagian dari DAS Bengawan Solo yang sering mengalami banjir akibat curah hujan tinggi, perubahan penggunaan lahan, dan salah satu wilayah yang dipengaruhi oleh DAS di Kota Surakarta. Kebutuhan akan data hujan satelit yang akurat menjadi esensial untuk perencanaan mitigasi banjir. Dalam beberapa tahun terakhir, data hujan satelit seperti PERSIANN telah berkembang sebagai solusi untuk melengkapi data lapangan, khususnya di

wilayah yang minim pengukuran. Namun, penggunaan data hujan satelit secara langsung sering kali tidak optimal karena adanya bias sistematis, perbedaan resolusi spasial, serta ketergantungan pada model algoritma yang digunakan untuk estimasi curah hujan. Oleh karena itu, kalibrasi dan validasi diperlukan untuk meningkatkan akurasi data satelit agar lebih sesuai dengan kondisi di lapangan (*ground*). Kalibrasi data hujan satelit melibatkan proses penyesuaian data hujan satelit dengan data hujan *ground* untuk mengurangi kesalahan dan meningkatkan keandalan data dalam analisis hidrologi. Validasi bertujuan untuk memastikan bahwa pola hujan yang tercatat oleh satelit sesuai dengan pengamatan di lapangan (*ground*). Dengan kalibrasi dan validasi yang tepat, data hujan satelit dapat digunakan untuk menganalisis debit banjir periode ulang secara lebih akurat. Penelitian ini bertujuan untuk menguji kesesuaian data hujan satelit dengan data hujan *ground*, menghitung debit periode ulang, serta menilai keandalan data hujan satelit dalam estimasi debit banjir periode ulang. Penelitian mengenai pemanfaatan data curah hujan satelit sudah dilakukan oleh peneliti sebelumnya di beberapa lokasi di Indonesia, namun belum ada penelitian mengenai pemanfaatan data hujan PERSIANN untuk sungai Kali Pepe. Maka, Hasil dari penulisan ini diharapkan data hujan PERSIANN dapat digunakan sebagai analisis debit banjir periode ulang di Sungai Kali Pepe ruas Hilir sampai Sungai Bengawan Solo di Kota Surakarta.

## 2. LANDASAN TEORI

### Data Hujan Satelit

Sistem penginderaan jauh mengestimasi curah hujan global menggunakan metode *Artificial Neural Networks* (ANN) untuk memperoleh data hujan satelit dan mengestimasi curah hujan global. Data diperoleh melalui penginderaan jauh menggunakan sensor yang mendeteksi karakteristik atmosfer dan permukaan bumi (Patabang dkk., 2019).

### Kalibrasi Data Hujan Satelit

Kalibrasi data hujan satelit merupakan proses untuk menyesuaikan data hujan satelit dengan data hujan di lapangan (*ground*) guna meningkatkan akurasi (Marta dkk., 2023). Proses ini melibatkan analisis statistik, seperti regresi linier dan metode machine learning yaitu random forest. Kalibrasi bertujuan untuk mengurangi bias data hujan satelit sehingga hasilnya dapat digunakan dalam analisis hidrologi (Dananjaya dkk., 2024). Persamaan yang digunakan dalam analisis regresi linier dan random forest sebagai berikut:

Persamaan regresi linier:

$$\hat{Y} = aX + b \quad [1]$$

Keterangan:

$\hat{Y}$  = Nilai data hujan satelit (output yang dikalibrasi)

$X$  = Nilai data hujan satelit (input)

$a$  = Gradien atau kemiringan garis (tingkat perubahan  $Y$  terhadap  $X$ )

$b$  = Intersep (nilai  $Y$  ketika  $X = 0$ )

Persamaan Random Forest:

$$\hat{Y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T_i(X) \quad [2]$$

Keterangan:

$\hat{Y}$  = Prediksi akhir

$N$  = Jumlah pohon dalam Random Forest

$T_i(X)$  = Prediksi dari pohon keputusan ke- $i$  berdasarkan input  $X$  (data hujan satelit)

### Validasi Data Hujan Satelit

Validasi data hujan satelit merupakan proses untuk mengetahui sejauh mana data hujan satelit dapat mempresentasikan kondisi nyata di permukaan bumi (Andari dkk., 2024). Dalam konteks hidrologi, validasi bertujuan untuk memastikan bahwa pola, intensitas, dan distribusi curah hujan yang diukur oleh satelit PERSIANN sesuai dengan data pengamatan

lapangan (*ground*) yang dianggap lebih akurat (Patabang., 2023). Beberapa konsep dan metode statistik digunakan untuk melakukan validasi, ditunjukkan pada persamaan 3 hingga persamaan 5.

a. *Root Mean Squared Error* (RMSE)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - Q_i)^2}{N}} \quad [3]$$

Keterangan:

$P_i$  = data observasi (data hujan *ground*)

$Q_i$  = data perkiraan (data hujan satelit)

$N$  = jumlah data

b. Nash - Sutcliffe Efficiency (NSE)

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - Q_i)^2}{\sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P})^2} \quad [4]$$

Keterangan:

$P_i$  = data observasi (data hujan *ground*)

$Q_i$  = data perkiraan (data hujan satelit)

$\bar{P}$  = data observasi rata-rata

$N$  = jumlah data

Tabel 1. Kriteria Nilai NSE

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

c. Koefisien Korelasi (R)

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N P_i Q_i - \sum_{i=1}^N P_i \times \sum_{i=1}^N Q_i}{\sqrt{N \sum_{i=1}^N P_i^2 - (\sum_{i=1}^N P_i)^2} \sqrt{N \sum_{i=1}^N Q_i^2 - (\sum_{i=1}^N Q_i)^2}} \quad [5]$$

Keterangan

$P_i$  = data observasi (data hujan *ground*)

$Q_i$  = data perkiraan (data hujan satelit)

$N$  = jumlah data

Tabel 2. Kriteria Nilai Koefisien Korelasi

Nilai R	Interpretasi
0 - 0,19	Sangat Rendah
0,20 - 0,39	Rendah
0,40 - 0,59	Sedang
0,60 - 0,79	Kuat
0,8 - 1	Sangat Kuat

### Uji Konsistensi Data Hujan

Uji kualitas data hujan dilakukan untuk memastikan bahwa data hujan tidak mengalami perubahan tren atau signifikan, homogen, dan dapat digunakan untuk analisis jangka panjang (Damayanti dkk., 2022). Metode yang digunakan dalam uji konsistensi data hujan yaitu: uji Rescaled Adjusted Partial Sums (RAPS), uji persistensi, dan uji outliers.

### Hidrograf Satuan Sintesis (HSS)

Hidrograf satuan sintesis merupakan metode yang digunakan dalam hidrologi untuk memperkirakan debit banjir akibat hujan di suatu daerah aliran sungai (Krisnayanti dkk., 2020). HSS digunakan untuk memberikan pendekatan berbasis

parameter yang mempertimbangkan luas DAS, kemiringan lahan, panjang sungai utama, dan karakteristik hidrologi lainnya (Natakusumah., 2011). Dua metode yang digunakan dalam penulisan ini adalah HSS Gama 1 dan HSS Limantara.

### **HSS Gama 1**

Dalam metode HSS Gama 1, terdapat parameter DAS yang diperlukan dalam perhitungan HSS Gama 1 yaitu:

- Luas DAS (A)
- Lebar Bawah DAS (WL)
- Lebar Atas DAS (WU)
- Luas DAS sebelah hulu titik berat (AU)
- Panjang Sungai Utama (L)
- Panjang sungai semua tingkat
- Panjang sungai tingkat 1
- Jumlah sungai semua tingkat
- Jumlah Pertemuan Sungai (JN)

Persamaan yang digunakan untuk mengukur debit puncak dalam metode HSS Gama 1:

$$Q_p = 0,1836 \cdot A^{0,1793} \cdot TR^{-0,4008} \cdot JN^{0,2381}$$

Keterangan:

$Q_p$  = Debit puncak banjir HSS ( $m^3/dt/mm$ )

TR = Waktu puncak (jam)

### **HSS Limantara**

Dalam metode HSS Limantara, terdapat parameter DAS yang diperlukan dalam perhitungan HSS Limantara yaitu:

- Luas DAS (A)
- Panjang sungai Utama (L)
- Panjang sungai dari bagian hilir ke titik berat ( $L_c$ )
- Kemiringan Sungai (S)
- Koefisien Manning (n)

Persamaan yang digunakan untuk mengukur debit puncak dalam metode HSS Gama 1:

$$Q_p = 0,042 \cdot A^{0,451} \cdot L^{0,497} \cdot L_c^{0,356} \cdot S^{-0,131} \cdot n^{0,168}$$

Keterangan:

$Q_p$  = debit puncak banjir HSS ( $m^3/dt/mm$ )

$L_c$  = panjang sungai hilir (m)

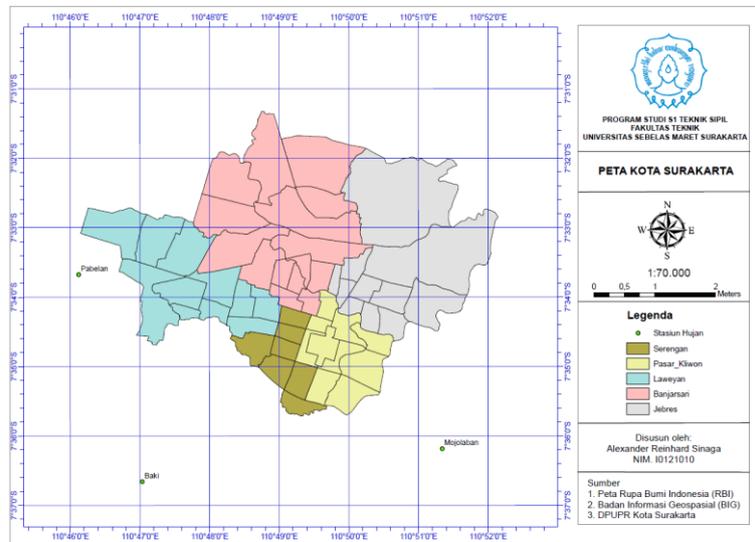
## **3. BAHAN DAN METODE**

### **Data Penelitian**

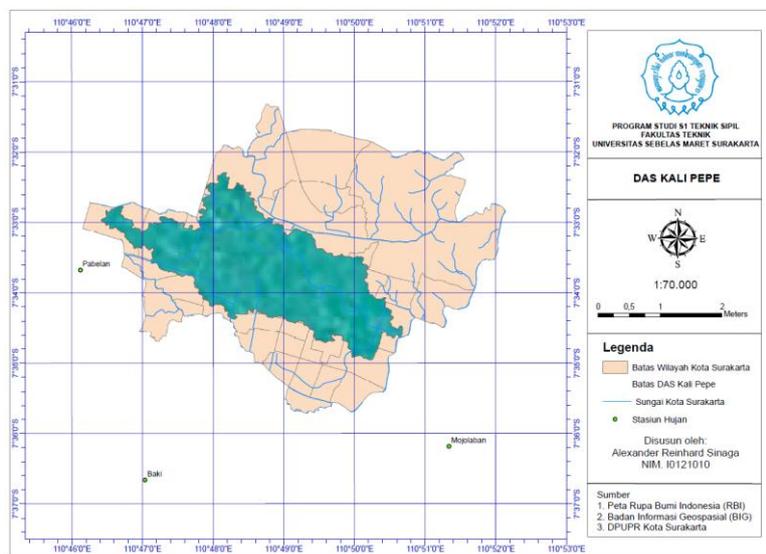
Data-data yang digunakan dalam studi ini yaitu data hujan *ground* dan koordinat stasiun hujan di Wiayah sekitar Kota Surakarta. Stasiun hujan *ground* yang digunakan yaitu Stasiun Hujan Pabelan, Stasiun Hujan Baki, dan Stasiun Hujan Mojolaban. Data hujan *ground* dan Koordinat stasiun hujan diperoleh dari DPUPR Kota Surakarta Bidang Sumber Daya Air. Data hujan satelit PERSIANN diunduh melalui *website* <https://chrsdata.eng.uci.edu/>. Terdapat 4 jenis dataset yang dapat dipilih yaitu PERSIANN, PERSIANN-CCS, PERSIANN-CDR, dan PDIR-Now. Setiap jenis dataset memiliki kekuatan resolusi spasial yang berbeda. Pada penulisan ini, jenis dataset yang digunakan yaitu PERSIANN-CCS. Rentang data hujan diambil 20 tahun dalam kurun tahun 2004 sampai 2023.

### **Lokasi Penelitian**

Studi ini dimulai dengan pengolahan data DEM untuk pembuatan peta administrasi Kota Surakarta, peta DAS Kali Pepe, pembuatan peta lokasi stasiun hujan lapangan (*ground*), penentuan koordinat dan membuat grid PERSIANN dengan bantuan software ArcMap. Berikut tampilan gambar administrasi Kota Surakarta pada gambar 1 dan lokasi DAS Kali Pepe pada gambar 2.



Gambar 1. Peta Administrasi Kota Surakarta



Gambar 2. Lokasi DAS Kali Pepe

## Metode Penelitian

Pengolahan data penelitian dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Melakukan rekapitulasi data hujan yang diperoleh dari satelit PERSIANN dan lapangan (*ground*) selama 20 tahun dari tahun 2004 hingga tahun 2023. Rekapitulasi data dibuat menjadi data hujan maksimum tahunan dari tiga stasiun hujan.
2. Melakukan uji konsistensi dan uji korelasi data hujan dengan tiga uji sebagai berikut:
  - a. Uji RAPS
  - b. Uji Persistensi
  - c. Uji Outlier
3. Melakukan kalibrasi data hujan satelit dengan dua metode kalibrasi sebagai berikut
  - a. Regresi liner

- b. Random Forest
4. Menghitung Hujan Rerata wilayah dengan metode Poligon Thiessen
5. Menganalisis distribusi curah hujan menggunakan empat metode sebagai berikut:
  - a. Gumbel,
  - b. Log-Pearson,
  - c. Normal
  - d. Log-Normal.
6. Melakukan uji kesesuaian distribusi frekuensi, uji ini digunakan untuk menguji kesesuaian antara distribusi data hujan dengan distribusi teoritis untuk melihat apakah terdapat perbedaan signifikan. Uji kesesuaian distribusi frekuensi dengan 2 metode sebagai berikut:
  - a. Uji Smirnov-Kolmogorov
  - b. Uji *Chi-Square*
7. Penentuan koefisien limpasan  
 Koefisien limpasan merupakan koefisien yang diperoleh dari luas penggunaan lahan dan koefisien jenis tata guna lahan. Penentuan luas penggunaan lahan diperoleh dari aplikasi *software* ArcMap dan google earth. Koefisien limpasan ini digunakan untuk menghitung hujan efektif.
8. Menghitung hujan efektif  
 Hujan efektif diperoleh dari hasil perhitungan koefisien limpasan dengan besar curah hujan per periode. Besar curah hujan diperoleh dari distribusi curah hujan yang memenuhi uji syarat distribusi.
9. Perhitungan debit banjir dengan 2 metode Hidrograf Satuan Sintesis (HSS) antara lain:
  - a. HSS Gama 1
  - b. HSS Limantara
10. Perbandingan selisih data hujan satelit terhadap data hujan *ground*.

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### Analisis Data Hujan

Dalam proses pengolahan data, data hujan yang diperoleh dari website CHRS data portal dan DPUPR dilakukan rekapitulasi dalam software excel. Rekapitulasi data hujan dibentuk dari 2 versi yaitu data hujan satelit dan data hujan *ground*. Data hujan dibentuk dalam hujan maksimum tahunan yang diperoleh dari setiap stasiun hujan. Pada penulisan ini, data hujan diambil dari Stasiun Hujan Pabelan, Baki, dan Mojolaban. Rentang data hujan yang digunakan selama 20 tahun (2004-2023). Data hujan maksimum tahunan diperoleh dari nilai hujan harian tertinggi yang terjadi dari bulan Januari sampai Desember dengan periode 20 tahun. Nilai hujan maksimum tahunan diambil dari Stasiun Hujan Pabelan, Baki, dan Mojolaban. Berikut tabel hujan harian maksimum tahunan dari data hujan *ground* dan satelit.

Tabel 3. Rekapitulasi Hujan Harian Maksimum Tahunan

<b>Hujan Harian Maksimum Tahunan</b>			
Data Hujan <i>Ground</i>			
Tahun	Pabelan (mm)	Baki (mm)	Mojolaban (mm)
2004	104	90	126
2005	89	66	110
2006	92	125	98
2007	133	98	118
2008	126	75	137
2009	142	98	138
2010	103	113	104
2011	114	91	99
2012	99	83	121
2013	76	68	86
2014	123	85	87
2015	166	82	78
2016	138	94	105
2017	118	75	154
2018	69	88	98

2019	116	77	98
2020	113	76	128
2021	167	36	127
2022	104	116	124
2023	82	57	157

Tabel 4. Rekapitulasi Hujan Harian Maksimum Tahunan

<b>Hujan Harian Maksimum Tahunan</b>			
Data Hujan Satelit			
Tahun	Pabelan (mm)	Baki (mm)	Mojolaban (mm)
2004	116	124	123
2005	82	111	81
2006	108	100	100
2007	135	119	224
2008	128	129	126
2009	135	114	106
2010	228	118	128
2011	139	145	113
2012	106	116	117
2013	131	144	117
2014	99	99	99
2015	103	104	72
2016	146	159	148
2017	124	124	134
2018	217	191	128
2019	135	228	142
2020	114	115	114
2021	162	213	152
2022	123	145	126
2023	140	110	150

### Uji Konsistensi

Proses uji konsistensi dilakukan untuk mengevaluasi konsistensi data hujan dari waktu ke waktu, apakah data hujan terjadi perubahan atau tidak. Uji konsistensi dilakukan dengan metode RAPS (*Rescaled Adjusted Partial Sums*). Uji konsistensi ini digunakan pada analisis data hujan satelit dan *ground*. Berikut hasil perhitungan uji konsistensi data hujan satelit dan data hujan *ground*.

Tabel 5. Uji RAPS Data Hujan Satelit

<b>Data Hujan Satelit</b>		
Syarat (Qhitung < Qkritis)	Kesimpulan	
<b>Stasiun Pabelan</b>		
$Q/\sqrt{n}$ (Qtabel 99%)	$0,61 < 1,42$	Data Konsisten
$R/\sqrt{n}$ (Rtabel 99%)	$0,94 < 1,6$	Data Konsisten
<b>Stasiun Baki</b>		
$Q/\sqrt{n}$ (Qtabel 99%)	$0,58 < 1,42$	Data Konsisten
$R/\sqrt{n}$ (Rtabel 99%)	$0,81 < 1,6$	Data Konsisten
<b>Stasiun Mojolaban</b>		
$Q/\sqrt{n}$ (Qtabel 99%)	$0,72 < 1,42$	Data Konsisten
$R/\sqrt{n}$ (Rtabel 99%)	$1,11 < 1,6$	Data Konsisten

Tabel 6. Uji RAPS Data Hujan *Ground*

<b>Data Hujan <i>Ground</i></b>		
---------------------------------	--	--

Syarat ( $Q_{hitung} < Q_{kritis}$ )		Kesimpulan
<b>Stasiun Pabelan</b>		
$Q/\sqrt{n}$ (Qtabel 99%)	$0,42 < 1,42$	Data Konsisten
$R/\sqrt{n}$ (Rtabel 99%)	$0,63 < 1,6$	Data Konsisten
<b>Stasiun Baki</b>		
$Q/\sqrt{n}$ (Qtabel 99%)	$0,62 < 1,42$	Data Konsisten
$R/\sqrt{n}$ (Rtabel 99%)	$0,56 < 1,6$	Data Konsisten
<b>Stasiun Mojolaban</b>		
$Q/\sqrt{n}$ (Qtabel 99%)	$0,34 < 1,42$	Data Konsisten
$R/\sqrt{n}$ (Rtabel 99%)	$0,57 < 1,6$	Data Konsisten

Berdasarkan dari uji konsistensi, data hujan satelit dan *ground* bersifat konsisten artinya data hujan tidak terdapat perubahan signifikan dalam jangka waktu yang diuji. Uji konsisten mengambil derajat kepercayaan sebesar 1%.

### Uji Persistensi

Proses uji persistensi dilakukan untuk mengetahui apakah data hujan memiliki pola ketergantungan dan keacakan suatu data. Uji persistensi ini digunakan pada analisis data hujan satelit dan *ground*. Berikut hasil perhitungan uji konsistensi data hujan satelit dan data hujan *ground*.

Tabel 7. Uji Persistensi

Data Hujan Satelit				
Stasiun	Uji Persistensi	Nilai	Nilai Kritis	Kesimpulan
Pabelan	$(\alpha = 1\%)$ 2 sisi	-1,142	$tcr = 2,583$ dan $-2,583$	Data Tidak Ketergantungan
Baki	$(\alpha = 1\%)$ 2 sisi	-1,156	$tcr = 2,583$ dan $-2,583$	Data Tidak Ketergantungan
Mojolaban	$(\alpha = 1\%)$ 2 sisi	-1,009	$tcr = 2,583$ dan $-2,583$	Data Tidak Ketergantungan
Data Hujan <i>Ground</i>				
Stasiun	Uji Persistensi	Nilai	Nilai Kritis	Kesimpulan
Pabelan	$(\alpha = 1\%)$ 2 sisi	-0,336	$tcr = 2,583$ dan $-2,583$	Data Tidak Ketergantungan
Baki	$(\alpha = 1\%)$ 2 sisi	-3,258	$tcr = 2,583$ dan $-2,583$	Data Ketergantungan
Mojolaban	$(\alpha = 1\%)$ 2 sisi	0,657	$tcr = 2,583$ dan $-2,583$	Data Tidak Ketergantungan

Berdasarkan tabel, besar nilai persistensi dari data hujan satelit diperoleh stasiun hujan Pabelan sebesar -1,142, stasiun hujan Baki sebesar -1,156, dan stasiun hujan Mojolaban sebesar -1,009. Besar nilai persistensi dari data hujan *ground* diperoleh stasiun hujan Pabelan sebesar -1,142, stasiun hujan Baki sebesar -1,156, dan stasiun hujan Mojolaban sebesar 0,657. Dengan diambil derajat kepercayaan sebesar 1%, didapat nilai kritis = 2,583 dan -2,583. Uji persistensi dilakukan 2 sisi maka diperoleh nilai kritis positif dan negatif. Syarat data hujan bersifat tidak ketergantungan apabila  $tcr (-) < \text{nilai kritis} < tcr (+)$ . Maka dilihat dari tabel, uji persistensi untuk data hujan satelit diperoleh hipotesis ( $H_0$ ) diterima dan data bersifat random, demikian juga untuk data hujan stasiun *ground* untuk stasiun hujan Pabelan dan Mojolaban. Namun, untuk stasiun hujan Baki data memiliki persistensi atau ketergantungan dan hipotesis ditolak ( $H_0$ ).

### Uji Outlier

Proses uji outlier dilakukan untuk mengidentifikasi data hujan yang menyimpang jauh dari trend kelompok data. Berikut hasil uji outlier pada data hujan satelit dan *ground*.

Tabel 8. Uji Outlier

Stasiun	Data Hujan Satelit	Data Hujan <i>Ground</i>
	Sifat Data	Sifat Data
Pabelan	Data Tidak Outliers	Data Tidak Outliers
Baki	Data Tidak Outliers	Data Outliers
Mojolaban	Data Outliers	Data Tidak Outliers

Berdasarkan tabel, data hujan satelit *ground* untuk stasiun hujan Pabelan dan Baki bersifat tidak outlier karena data masih sesuai dengan batas abnormalitas data atau data tidak melewati batas atas dan batas bawah. Namun untuk stasiun hujan Mojolaban, data hujan bersifat outlier karena data melewati batas abnormalitas. Data hujan *ground* untuk stasiun

hujan Pabelan dan Mojolaban bersifat tidak outlier dan data hujan dari stasiun hujan Baki bersifat outlier. Jika terdapat data hujan yang bersifat outlier dianjurkan untuk tidak digunakan untuk analisis selanjutnya.

### Kalibrasi dan Validasi Data Hujan

Pada studi ini, metode kalibrasi dilakukan dengan 2 metode yaitu regresi linier dan random forest. Kalibrasi dilakukan dengan 2 metode karena untuk melakukan perbandingan dari hasil validasi nilai RMSE, nilai NSE dan nilai R, metode mana yang mampu mendekati data hujan satelit terhadap data hujan ground. Proses kalibrasi secara regresi linier dan random forest memiliki pendekatan yang berbeda, dimana regresi linier melakukan pendekatan dengan memerlukan uji konsistensi data hujan berupa uji RAPS, uji persistensi, dan uji outliers. Sehingga apabila terdapat data yang tidak memenuhi syarat uji data maka mempengaruhi hasil kalibrasi data hujan satelit. Sedangkan kalibrasi secara random forest, tidak wajib memerlukan uji konsistensi dan uji korelasi data karena Random Forest memiliki kemampuan machine learning untuk membersihkan data hujan yang bersifat *robust, outlier*, persistensi dan linier. Metode random forest melakukan pendekatan dengan membuat banyak *decision tree* untuk memperkirakan hubungan antar data, menangkap data hujan yang bersifat kompleks, dan mengurangi dampak penyimpangan data. Berikut hasil validasi data hujan satelit dan data hujan *ground*.

Tabel 9. Hasil Validasi Data Hujan

Metode	Stasiun	Rentang data (Tahun)	RMSE	NSE	Intepretasi	R	Interpretasi	KR (%)
Regresi Linier	Pabelan	20	2684,89	-2,94	Tidak Memenuhi	-0,14	Sangat Rendah	27%
	Baki		14629,57	-35,95	Tidak Memenuhi	-0,33	Sangat Rendah	138%
	Mojolaban		1540,27	-2,34	Tidak Memenuhi	0,35	Sangat Rendah	24%
Random Forest	Pabelan		17,09	0,57	Memenuhi	0,78	Kuat	1%
	Baki		15,02	0,44	Memenuhi	0,72	Kuat	5%
	Mojolaban		13,15	0,62	Memenuhi	0,79	Kuat	0%

Dari hasil validasi, menunjukkan bahwa kalibrasi secara metode Random Forest mampu untuk melakukan pendekatan data hujan satelit terhadap data hujan *ground*. Hasil dari kalibrasi data hujan digunakan untuk menghitung hujan rerata wilayah dengan metode Poligon Thiessen.

### Perhitungan Hujan Rerata Wilayah

Perhitungan hujan rerata wilayah dilakukan menggunakan metode Poligon Thiessen. Metode ini memerlukan setidaknya tiga stasiun hujan pengukur hujan di lapangan. Stasiun hujan yang digunakan yaitu stasiun hujan Pabelan, Baki, dan Mojolaban. Setelah diperoleh data hujan satelit terkalibrasi dan data hujan *ground*, menghitung koefisien Thiessen. Koefisien Thiessen berfungsi sebagai faktor pembobotan dalam menghitung hujan rerata wilayah berdasarkan data dari tiga stasiun hujan tersebut. Besar total koefisien Thiessen harus satu. Berikut perhitungan hujan wilayah metode Poligon Thiessen.

Tabel 10. Hasil Hujan Rerata Wilayah Data Hujan Satelit

Tahun	Data Hujan Satelit			
	Stasiun Hujan Pabelan (mm)	Stasiun Hujan Baki (mm)	Stasiun Hujan Mojolaban (mm)	Curah Hujan Rerata Daerah Thiessen
2004	108,5	81,4	127,7	96,7
2005	132,2	69,5	82,8	102,6
2006	100,4	110,8	98,0	105,0
2007	131,0	99,1	126,1	116,4
2008	111,9	78,4	128,0	97,1
2009	131,0	89,5	120,1	111,9
2010	101,7	105,1	106,7	103,4
2011	110,2	99,9	106,0	105,5

Tahun	Stasiun Hujan Pabelan (mm)	Stasiun Hujan Baki (mm)	Stasiun Hujan Mojolaban (mm)	Curah Hujan Rerata Daerah Thiessen
2012	103,2	84,7	103,0	94,8
2013	91,6	78,1	103,0	85,8
2014	132,2	93,6	93,2	113,7
2015	148,0	89,7	82,8	120,0
2016	124,4	95,8	119,8	111,3
2017	114,9	81,4	140,8	100,4
2018	88,1	91,1	106,7	89,9
2019	131,0	91,1	119,3	112,6
2020	106,1	83,6	117,0	96,2
2021	124,4	91,1	140,6	109,7
2022	107,9	99,9	128,0	104,8
2023	96,8	69,5	140,6	85,5

Tabel 11. Hasil Hujan Rerata Wilayah Data Hujan *Ground*

Data Hujan <i>Ground</i>				
Tahun	Stasiun Hujan Pabelan (mm)	Stasiun Hujan Baki (mm)	Stasiun Hujan Mojolaban (mm)	Curah Hujan Rerata Daerah Thiessen
2004	104,0	90,0	126,0	98,2
2005	89,0	66,0	110,0	79,1
2006	92,0	125,0	98,0	107,1
2007	133,0	98,0	118,0	116,8
2008	126,0	75,0	137,0	103,2
2009	142,0	98,0	138,0	122,0
2010	103,0	113,0	104,0	107,6
2011	114,0	91,0	99,0	103,2
2012	99,0	83,0	121,0	92,3
2013	76,0	68,0	86,0	72,6
2014	123,0	85,0	87,0	104,9
2015	166,0	82,0	78,0	125,8
2016	138,0	94,0	105,0	117,2
2017	118,0	75,0	154,0	99,4
2018	69,0	88,0	98,0	78,3
2019	116,0	77,0	98,0	97,9
2020	113,0	76,0	128,0	96,6
2021	167,0	36,0	127,0	106,7
2022	104,0	116,0	124,0	109,9
2023	82,0	57,0	157,0	72,5

### Distribusi Curah Hujan

Perhitungan distribusi curah hujan dilakukan dengan 4 metode yaitu metode Distribusi Gumbel, Log-Pearson, Normal, dan Log-Normal. Berikut hasil perhitungan distribusi curah hujan.

Tabel 12. Distribusi Curah Hujan Satelit

Data Hujan Satelit				
Periode Ulang (T)	Gumbel	Log Pearson	Normal	Log Normal
2	101,71	103,40	103,17	102,71
2	112,24	111,64	111,47	111,48
10	119,22	115,79	115,81	116,36
10	128,03	120,07	120,46	121,82
50	134,57	122,74	123,42	125,43
50	141,06	125,08	126,19	128,90
200	147,52	127,16	128,66	132,08
1000	162,50	131,28	133,69	138,81

Tabel 13. Distribusi Curah Hujan *Ground*

Data Hujan <i>Ground</i>				
Periode Ulang (T)	Gumbel	Log Pearson	Normal	Log Normal
2	98,29	101,41	100,57	99,37
5	114,71	114,13	113,50	113,82
10	125,58	120,12	120,27	122,21
25	139,31	125,92	127,50	131,86
50	149,50	129,31	132,12	138,41
100	159,61	132,13	136,43	144,82
200	169,69	134,50	140,28	150,79
1000	193,03	138,80	148,13	163,74

### Uji Persyaratan Statistik

Uji persyaratan statistik bertujuan untuk menentukan distribusi curah hujan yang memenuhi dari empat metode distribusi. Jika terdapat distribusi hujan yang tidak memenuhi, maka memilih salah satu jenis distribusi yang memenuhi. Uji persyaratan ini dilakukan terhadap data hujan satelit dan data hujan ground. Berikut hasil uji persyaratan statistik.

Tabel 14. Uji Data Hujan Satelit

Jenis Distribusi	Hasil Perhitungan	Syarat	Keterangan
Gumbel	Cs	$Cs \leq 1,1396$	Memenuhi
	Ck	$Ck \leq 5,4002$	Memenuhi
Log Pearson	Cs	Cs antara 0 - 0,9	Tidak Memenuhi
	Cv	$Cv = 0,05$	Tidak Memenuhi
Normal	Cs	$Cs \approx 0$	Tidak Memenuhi
	Ck	$Ck \approx 3$	Tidak Memenuhi
Log Normal	Cs	$Cs = Cv^2 + 3Cv$	Memenuhi
	Ck	$Ck = Cv^8 + 6Cv^6 + 15Cv^4 + 16Cv^2 + 3$	Memenuhi
	Cv	$Cv \approx 0,06$	Tidak Memenuhi

Tabel 15. Uji Data Hujan *Ground*

Jenis Distribusi	Hasil Perhitungan	Syarat	Keterangan
Gumbel	Cs	$Cs \leq 1,1396$	Memenuhi
	Ck	$Ck \leq 5,4002$	Memenuhi
Log Pearson	Cs	Cs antara 0 - 0,9	Tidak Memenuhi
	Cv	$Cv = 0,05$	Tidak Memenuhi
Normal	Cs	$Cs \approx 0$	Tidak Memenuhi
	Ck	$Ck \approx 3$	Tidak Memenuhi
Log Normal	Cs	$Cs = Cv^2 + 3Cv$	Memenuhi
	Ck	$Ck = Cv^8 + 6Cv^6 + 15Cv^4 + 16Cv^2 + 3$	Memenuhi
	Cv	$Cv \approx 0,06$	Tidak Memenuhi

Berdasarkan uji persyaratan statistik terhadap data hujan satelit dan data hujan *ground*, metode Distribusi Gumbel memenuhi syarat. Sedangkan, metode Distribusi Log-Pearson, Normal, dan Log-Normal tidak memenuhi persyaratan. Maka, jenis data hujan dari metode Distribusi Gumbel digunakan untuk perhitungan hujan efektif.

### Uji Kesesuaian distribusi

Proses uji kesesuaian distribusi data hujan menggunakan dua metode yaitu metode Uji Smirnov-Kolmogorov dan Uji Chi-Square. Metode Smirnov-Kolmogorov digunakan untuk melihat seberapa dekat distribusi teoritis dengan distribusi data hujan empiris. Sedangkan, metode Uji Chi-Square digunakan untuk mengkonfirmasi hasil dengan membandingkan distribusi berdasarkan frekuensi data dalam interval tertentu. Berikut hasil uji kesesuaian distribusi data hujan satelit dan data hujan *ground*.

Tabel 16. Uji Smirnov-Kolmogorov

Data Hujan Satelit			
Distribusi Probabilitas	$\Delta_{hitung}$	$\Delta_{kritis} (\alpha=1\%)$	Kesimpulan
Gumbel	0,10	0,36	Diterima
Log-Pearson	0,08	0,36	Diterima
Normal	0,08	0,36	Diterima
Log-Normal	0,09	0,36	Diterima

Tabel 17. Uji Smirnov-Kolmogorov

Data Hujan <i>Ground</i>			
Distribusi Probabilitas	$\Delta_{hitung}$	$\Delta_{kritis} (\alpha=1\%)$	Kesimpulan
Gumbel	0,17	0,36	Diterima
Log-Pearson	0,10	0,36	Diterima
Normal	0,11	0,36	Diterima
Log-Normal	0,16	0,36	Diterima

Dari Uji Smirnov-Kolmogorov, syarat data hujan diterima apabila  $\Delta_{hitung} < \Delta_{kritis}$ , maka distribusi data hujan satelit dan *ground* diterima. Uji Smirnov-Kolmogorov mengambil derajat kepercayaan sebesar 1% dengan memperoleh nilai kritis sebesar 0,36.

Tabel 18. Uji Chi-Square

Data Hujan Satelit			
Distribusi Probabilitas	$X^2_{hitung}$	$X^2_{cr} (\alpha=1\%)$	Kesimpulan
Gumbel	3,5	9,21	Diterima
Log-Pearson	3,5	9,21	Diterima
Normal	5	9,21	Diterima
Log-Normal	3,5	9,21	Diterima

Tabel 19. Uji Chi-Square

Data Hujan <i>Ground</i>			
Distribusi Probabilitas	$X^2_{hitung}$	$X^2_{cr} (\alpha=1\%)$	Kesimpulan
Gumbel	2,5	9,21	Diterima
Log-Pearson	4,5	9,21	Diterima
Normal	5	9,21	Diterima
Log-Normal	1,5	9,21	Diterima

Dari Uji Chi-Square, syarat data hujan diterima apabila  $X^2_{hitung} < X^2_{cr}$ , maka distribusi data hujan satelit dan *ground* diterima. Uji Chi-Square mengambil derajat kepercayaan sebesar 1% dengan memperoleh nilai kritis sebesar 9,21.

### Koefisien Limpasan

Koefisien limpasan merupakan nilai yang menunjukkan proporsi curah hujan yang berubah menjadi aliran permukaan. Nilai Koefisien ini bergantung pada luas tata guna lahan dan jenis tata guna lahan. Nilai koefisien berkisar antara nol hingga satu, jika nilai koefisien mendekati satu artinya sebagian besar air meresap ke dalam tanah. Sedangkan, nilai koefisien mendekati nol artinya sebagian besar air langsung menjadi limpasan permukaan.

### Perhitungan Hujan Efektif

Perhitungan hujan efektif untuk menentukan besar curah hujan yang berkontribusi terhadap debit banjir. Dalam proses ini, hujan efektif diperoleh dari distribusi data hujan metode Gumbel dan koefisien limpasan. Hujan efektif digunakan sebagai input dalam menghitung debit banjir dalam metode HSS Gama 1 dan HSS Limantara.

### Analisis Hidrograf Satuan Sintesis

Hidrograf satuan sintesis digunakan untuk menghitung debit banjir akibat hujan efektif di suatu daerah aliran sungai (DAS). Perhitungan debit banjir dilakukan menggunakan metode HSS Gama 1 dan HSS Limantara. Kedua metode tersebut memiliki parameter serupa dalam perhitungan debit banjir. Metode HSS Gama 1 memerlukan parameter berupa panjang sungai dan karakteristik DAS, sedangkan metode HSS limantara memerlukan parameter berupa kemiringan sungai dan luas DAS. Setelah parameter untuk kedua metode diperoleh, dilakukan perhitungan waktu puncak, debit puncak dan durasi hujan efektif. Perhitungan ini bertujuan untuk menentukan besarnya debit banjir yang terjadi dalam periode ulang tertentu. Debit banjir maksimum digunakan sebagai hasil akhir perhitungan. Berikut ini adalah hasil perhitungan debit banjir menggunakan metode HSS Gama 1 dan HSS limantara.

Tabel 20. Analisis Debit Banjir Metode HSS Gama 1

Debit Banjir Maksimum HSS Gama 1 (m <sup>3</sup> /det)			
Periode Ulang	Q <sub>ground</sub> (m <sup>3</sup> /det)	Q <sub>satelit</sub> (m <sup>3</sup> /det)	Selisih (%)
2 Tahun	45,53	47,07	3%
5 Tahun	52,93	51,82	2%
10 Tahun	57,84	54,97	5%
25 Tahun	64,03	58,94	8%
50 Tahun	68,63	61,89	10%
100 Tahun	73,19	64,82	11%
200 Tahun	77,73	67,74	13%
1000 Tahun	88,26	74,49	16%

Tabel 21. Analisis Debit Banjir Metode HSS Limantara

Debit Banjir Maksimum HSS Limantara (m <sup>3</sup> /det)			
Periode Ulang	Qground (m <sup>3</sup> /det)	Qsatelit (m <sup>3</sup> /det)	Selisih (%)
2 Tahun	25,39	26,27	3%
5 Tahun	29,63	28,99	2%
10 Tahun	32,43	30,79	5%
25 Tahun	35,98	33,07	8%
50 Tahun	38,61	34,76	10%
100 Tahun	41,22	36,43	12%
200 Tahun	43,83	38,10	13%
1000 Tahun	49,85	41,97	16%

## 5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, data hujan satelit yang telah dikalibrasi menghasilkan debit banjir dengan selisih antara antara 2% hingga 16% jika dihitung menggunakan metode HSS Gama 1 dan HSS Limantara. Selisih debit banjir kurang dari 10% menunjukkan bahwa data hujan satelit cukup mendekati data hujan lapangan (*ground*) dan dapat digunakan sebagai alternatif pengganti data hujan. Sebaliknya, jika selisih debit banjir melebihi 10%, akurasi data hujan satelit cenderung menurun, sehingga diperlukan kalibrasi tambahan. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa selisih persentase terkecil terjadi pada periode ulang 5 tahun yaitu sebesar 2%, sedangkan selisih persentase terbesar terjadi pada periode ulang 1000 tahun yaitu sebesar 16%. Secara umum, selisih persentase cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya periode ulang, yang mengindikasikan bahwa akurasi data hujan satelit semakin menurun untuk periode ulang yang lebih panjang.

Data hujan yang telah dikalibrasi dapat menjadi alternatif di wilayah dengan keterbatasan data hujan lapangan (*ground*), sehingga perencanaan infrastruktur pengendalian banjir lebih optimal, dan meningkatkan efektivitas sistem peringatan dini banjir, terutama untuk periode ulang yang lebih pendek. Namun, untuk analisis risiko jangka panjang dengan periode ulang yang lebih besar, diperlukan metode kalibrasi tambahan seperti Inverse Distance Weighting (IDW), Bayesian Model Averaging (BMA) dan metode kalibrasi lainnya guna meningkatkan akurasi data hujan satelit. Hasil penelitian ini juga mendukung pengembangan kebijakan berbasis data dalam pengelolaan sumber daya air, khususnya dalam perencanaan tata ruang yang lebih adaptif terhadap risiko banjir.

## DAFTAR PUSTAKA

- Damayanti, Alvine Cinta *et al.* (2022). “Analisis Debit Banjir Rancangan Dengan Metode HSS Nakayasu, HSS ITB-1, Dan HSS Limantara Pada DAS Manikin Di Kabupaten Kupang.” *Jurnal Teknologi Dan Rekayasa Sumber Daya Air*, Vol. 2. No. 2, Malang, 300-313.
- Dananjaya, Raden Harya *et al.* (2024). “Akurasi Metode Random Forest Pada Proses Downscaling Dan Kalibrasi Data Trmm.” *Matriks Teknik Sipil*, Vol. 11. No. 4, Surakarta, 354-361.
- Yuni maulinda, Yuni Maulinda *et al.* (2022). “Analisis Debit Banjir Dengan Menggunakan Metode Haspers Dan Melchior Pada DAS Sungai Krueng Tripa.” *Journal of The Civil Engineering Student*, Vol. 4. No.2, Aceh Barat, 148–54.
- Adoe, Damayanti Putri Adoe *et al.* (2022). “Analisis Debit Banjir Pada DAS Di Pulau Sumba Dengan Metode HSS Nakayasu Dan Metode HSS GAMA-1.” *Jurnal Teknik Sumber Daya Air*, Vol. 1. No. 1, Kupang, 11–20.
- Madhatillah, and Rusli Har. (2020). “Analisis Debit Air Limpasan Permukaan (Run Off) Akibat Perubahan Tata Guna Lahan Pada DAS Kuranji Dan DAS Batang Arau Kota Padang.” *Jurnal Bina Tambang*, Vol. 5. No. 1, Padang, 178–189.
- Jarwinda. (2021). “Analisis Curah Hujan Rencana Dengan Menggunakan Distribusi Gumbel Untuk Wilayah Kabupaten Lampung Selatan.” *Journal Of Science, Techology, and Virtual Culture*, Vol. 1. No. 1, Lampung, 51–54.
- Patabang, Steven Tandi *et al.* (2023). “Validasi Data Curah Hujan PERSIANN (Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information Using Artificial Neural Networks) Dengan Pos Stasiun Hujan Di DAS Selorejo.” *Jurnal Teknologi Dan Rekayasa Sumber Daya Air*, Vol. 3. No. 1, Malang, 1–11.
- Wulandari, Anisa *et al.* (2023). “Analisis Distribusi Curah Hujan Di Sub DAS Opak Hulu Menggunakan Metode Aritmatika, Poligon Thiessen, Normal, Log Normal, Log Pearson III, Dan Gumbel.” *Renovasi: Rekayasa Dan Inovasi Teknik Sipil*, Vol. 8. No. 1, Yogyakarta, 31–38.

- Shabrina, Salsabila *et al.* (2024). “Analisis Data Hujan Satelit Untuk Pembuatan Peta Spasial Hujan Rancangan Di DAS Rondoningo.” *Jurnal Teknologi Dan Rekayasa Sumber Daya Air*, Vol. 4. No. 1, Malang, 717–729.
- Natakusumah, Dantje K. *et al.* (2011). “Prosedur Umum Perhitungan Hidrograf Satuan Sintetis Dengan Cara ITB Dan Beberapa Contoh Penerapannya.” *Jurnal Teoretis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*, Vol. 18. No. 3, Bandung, 251-291.
- Krisnayanti, Denik S., and Elia Hunggurami. (2020). “Perbandingan Debit Banjir Rancangan Dengan Metode HSS Nakayasu.” *Jurnal Teknik Sipil*, Vol. IX. No. 1, Kupang, 1–14.
- Hidayat, Asep Kurnia, and Empung. (2016). “Analisis Curah Hujan Efektif Dan Curah Hujan Dengan Berbagai Periode Ulang Untuk Wilayah Kota Tasikmalaya Dan Kabupaten Garut.” *Jurnal Siliwangi*, Vol. 2. No. 2, Tasikmalaya, 121–26.
- Pratiwi, Destiana Wahyu *et al.* (2017). “Evaluasi Data Hujan Satelit Untuk Prediksi Data Hujan Pengamatan Menggunakan Cross Correlation.” *Jurnal Seminar Nasional Sains Dan Teknologi UNJ*, Jakarta, 1–11.
- Andari, Rafika, and Nurhamidah Nurhamidah. (2024). “Validasi Data Satelit TRMM Dan GPM Menggunakan Pengamatan Curah Hujan Harian.” *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan* Vol. 8. No. 2, Padang, 985–93.
- Ilham, Muhammad, and Cut Dwi Refika. (2023). “Analisis Debit Banjir Dengan Metode HSS SCS Dan Metode Melchior Di Sungai Krueng Meureudu.” *Journal of The Civil Engineering Student* Vol. 5. No. 1, Aceh, 92–98.
- Hartyan, Dionysius Edna *et al.* (2024). “Pemodelan Debit Banjir Rencana Berbasis Data Hujan Satelit Pada Daerah Tangkapan Air Bendungan Meninting.” *Media Komunikasi Teknik Sipil* Vol. 30. No. 1, Semarang, 1–8.
- Nugroho, Adi Prasetya, and Sri Sangkawati Sachro. (2024). “Analisis Regresi Untuk Penentuan Faktor Koreksi Data Hujan Satelit (Studi Kasus Daerah Tangkapan Air Bendungan Way Apu).” *Teknik* Vol. 45 No. 1, Semarang, 59–68.
- Sitepu, Haniyah *et al.* (2023). “Evaluasi Data Curah Hujan Satelit ERA-5 Pada Berbagai Periode Data Hujan Di Sub DAS Bodor.” *Jurnal Teknologi Dan Rekayasa Sumber Daya Air* Vol. 3 No. 2, Malang, 626–36.
- Ngurah, I. Gusti *et al.* (2024). “Evaluasi Data Curah Hujan Terukur Dan Satelit PERSIANN-CCS Dalam Analisis Debit Banjir Rancangan Terhadap Debit Banjir Terukur Di DAS Tukad Petanu.” *Jurnal Teknik Sipil Universitas Warmadewa* Vol. 13. No. 2, Bali, 148–158.
- Nomnafa, Forisman R. *et al.* (2022). “Penggunaan Data Satelit TRMM Terhadap Stasiun Curah Hujan Di WS Noelmina.” *Jurnal Teknik Pengairan* Vol. 13. No. 1, Kupang, 1–11.
- Marta, Silvia Dwi *et al.* (2023). “Validasi Data Curah Hujan Satelit Dengan Data Stasiun Hujan Di DAS Ngasinan Hulu, Kabupaten Trenggalek, Jawa Timur.” *Jurnal Teknologi Dan Rekayasa Sumber Daya Air*, Vol. 3 No. 1, Malang, 35–45.