

Rainfall Data as an Indicator of Climate Change (Case Study: Kuta District, Badung Regency)

I Putu Bagus Reka Sugita Yasa^{1*)}, Ni Nyoman Pujianiki²⁾, I Putu Gustave Suryantara Pariartha³⁾

¹⁾ Magister Teknik Sipil, Universitas Udayana, Jl. P.B. Sudirman, Denpasar, Bali, 80232

Email: reka.sugita97@gmail.com

²⁾ Magister Teknik Sipil, Universitas Udayana, Jl. P.B. Sudirman, Denpasar, Bali, 80232

Email: pujianiki@civil.unud.ac.id

³⁾ Magister Teknik Sipil, Universitas Udayana, Jl. P.B. Sudirman, Denpasar, Bali, 80232

Email: gustave_sp@unud.ac.id

*) *Corresponding author*

Abstract: Climate change is a global issue that has a clear impact on rainfall patterns, especially in coastal areas. This study examines rainfall changes in Kuta District, Badung Regency, using CHIRPS satellite data from 1981 to 2024. The validity of CHIRPS data was confirmed by comparing it with data from the Ngurah Rai meteorological station (1 station; 1981–2020 period; monthly scale) by matching the CHIRPS grid to the station location. The validation showed a high level of accuracy ($r = 0.934$; $R^2 = 0.878$), thus proving the reliability of CHIRPS as a data source. Trend analysis using the Mann-Kendall test, along with Sen's slope calculation (+7.92 mm/year; 95% CI), showed a statistically significant increase ($p < 0.05$). Furthermore, trend testing on the extreme rainfall intensity index (R50mm, RX1day) revealed an increase in the frequency of heavy rainfall after 2019, which was confirmed by indications of abrupt changes based on the Pettitt test. The results of this study align with scientific publications and climate change projections in tropical regions. These findings emphasize the importance of monitoring using remote sensing technology in areas with limited rain gauge stations. These findings imply the need to formulate adaptation strategies related to hydrometeorology and improved water resource management.

Keywords: Climate Change, CHIRPS, Rainfall, Kuta, Remote Sensing.

Abstrak: Perubahan iklim menjadi permasalahan global yang memberikan efek jelas pada pola curah hujan, terutama di daerah pesisir. Studi ini mengkaji perubahan curah hujan di Kecamatan Kuta, Kabupaten Badung, dengan memanfaatkan data satelit CHIRPS dari tahun 1981 hingga 2024. Keabsahan data CHIRPS dikonfirmasi dengan membandingkannya dengan data dari stasiun meteorologi Ngurah Rai (1 stasiun; periode 1981–2020; skala bulanan) dengan mencocokkan grid CHIRPS dengan lokasi stasiun. Validasi tersebut menunjukkan tingkat akurasi yang tinggi ($r = 0,934$; $R^2 = 0,878$), sehingga membuktikan bahwa CHIRPS dapat diandalkan sebagai sumber data. Analisis kecenderungan menggunakan uji Mann-Kendall, bersamaan dengan perhitungan kemiringan Sen (+7,92 mm/tahun; CI 95%), memperlihatkan adanya peningkatan yang signifikan secara statistik ($p < 0,05$). Lebih lanjut, pengujian kecenderungan pada indeks intensitas hujan ekstrem (R50mm, RX1day) mengungkapkan peningkatan frekuensi hujan deras setelah tahun 2019, yang diperkuat oleh indikasi adanya perubahan mendadak berdasarkan uji Pettitt. Hasil penelitian ini sejalan dengan publikasi ilmiah dan proyeksi perubahan iklim di wilayah tropis. Penemuan ini menekankan pentingnya pemantauan menggunakan teknologi penginderaan jauh di wilayah yang memiliki keterbatasan jumlah stasiun pengukur hujan. Implikasi dari hasil ini adalah perlunya merumuskan strategi adaptasi terkait hidrometeorologi dan pengelolaan sumber daya air yang lebih baik.

Kata Kunci: Perubahan Iklim, CHIRPS, Curah Hujan, Kuta, Penginderaan Jauh

DOI: <https://doi.org/10.37577/sainteks.v7i02.941>

Received: 07, 2025. Accepted: 08, 2025.

Published: 09, 2025

PENDAHULUAN

Perubahan iklim merupakan salah satu dari dampak peristiwa pemanasan global dan menjadi isu dan tantangan dunia internasional (Nisa et al., 2015). Beberapa faktor penyebab terjadinya perubahan iklim secara alami dan tidak alami antara lain munculnya bintik hitam di permukaan matahari pada setiap periode sebelas tahunan, deforestasi maupun efek gas rumah kaca (Hadi, 2017). Terjadinya akumulasi panas/energi di atmosfer bumi yang berlebihan merupakan dampak dari perubahan iklim global untuk melakukan penyesuaian dengan peningkatan temperatur bumi yang salah satu dampak dari perubahan iklim (Yépez et al., 2024). Menurut *Annual Report 6* yang dilakukan oleh *Intergovernmental Panel on Climate Change* terdapat kenaikan suhu sebesar 1,5°C lebih tinggi dari 2015 tahun yang lalu (IPCC, 2024). Banyak negara terdampak oleh perubahan iklim pada masa ini dan masa depan yang memberikan pengaruh pada kenaikan muka air laut, cuaca ekstrim dan menyebabkan variabilitas hujan meningkat (Clarke et al., 2019).

Dampak potensial dari perubahan iklim berupa perubahan pola hujan, peningkatan suhu dan kenaikan muka air laut (Dasanto et al., 2022). Perubahan iklim berdampak pada daerah pesisir yaitu diantaranya ditunjukkan dengan perubahan salinitas dan perubahan cuaca ekstrim yang mengakibatkan tingginya gelombang, meningkatnya badai, kecepatan arus, serta meningkatkan intensitas badai di laut (Zikra et al., 2015). Peningkatan resiko bencana juga ditunjukkan dari peningkatan muka air laut yang berdampak pada ancaman bencana seperti banjir rob, pasang tinggi, abrasi, dan pengaruhnya kepada aspek lainnya (Suwarman et al., 2022). Perubahan iklim sudah terjadi di pulau Bali dibuktikan dari adanya perubahan curah hujan yang mengalami peningkatan dengan mengamati dari tahun 1961 sampai dengan 2008 dengan klasifikasi *Schmidt dan Ferguson* (Setiawan, 2017).

Informasi mengenai iklim sangatlah dibutuhkan pada suatu daerah. Dengan informasi tersebut dapat dilakukan mitigasi yang diakibatkan perubahan iklim. Pada daerah pesisir belum banyak terdapat informasi mengenai perubahan iklim. Masalah yang terkait sumber daya pesisir di Indonesia diantaranya adalah kurangnya kegiatan penelitian dan penerapan IPTEK yang terkait dengan sumber daya pesisir beserta kerentanannya. Pada daerah pesisir banyak cara untuk dapat mengetahui perubahan iklim yang sedang terjadi salah satunya dengan mengamati pola dan intensitas hujan. Terbatasnya stasiun pengukuran data curah hujan yang tersedia di Indonesia khususnya provinsi Bali juga penyebab terbatasnya penelitian perubahan iklim dengan memanfaatkan curah hujan (Ardana et al., 2023). Selain itu pencatatan data hujan dengan stasiun pencatat hujan memiliki beberapa kekurangan diantaranya keakuratan pencatatan dan ketersediaan data hujan (Wiwoho et al., 2021). Dengan adanya data hujan satelit yang dapat diambil menggunakan teknik penginderaan jauh akan membantu untuk mengamati data hujan yang memiliki perekaman dengan waktu yang lama.

Penginderaan jauh (Inderaja) merupakan ilmu dan teknologi yang memungkinkan untuk memperoleh informasi tentang suatu objek, wilayah, atau fenomena dari jarak jauh menggunakan satelit (Yusuf, 2017). Dengan bantuan penginderaan jauh pengumpulan indikator perubahan iklim dapat dianalisa dengan cepat. Penginderaan jauh juga memungkinkan untuk menganalisa daerah yang sulit dijangkau sehingga meminimalisir resiko pengambilan data (Prayoga et al., 2017). Pemanfaatan satelit untuk memonitoring cuaca ekstrim sudah dikembangkan sejak 1990-an dengan data satelit GMS yang kemudian dikembangkan dengan mengganti dengan data satelit MTSAT dan saat ini yang beroperasi adalah satelit Himawari-8 (Adiningsih et al., 2016). Teknologi Penginderaan jauh menggunakan satelit CHIRPS (*Climate Hazard Group InfraRed Precipitation with Stasion*) dapat menjadi solusi untuk mengstimasi curah hujan permukaan (Cipto et al., 2023). Belum ada studi Kecamatan Kuta yang memvalidasi CHIRPS secara kuantitatif dan menilai tren ekstrem harian jangka panjang yang dilakukan sehingga diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai penggunaan satelit.

Data hujan satelit CHIRPS dapat menjadi data alternatif sebagai solusi terbatasnya stasiun pengukuran data curah hujan yang tersedia di Indonesia. Akurasi data hujan satelit sangat bervariasi antar wilayah, salah satu faktor penyebab itu adalah lingkungan (Gebremedhin et al.,

2021) faktor iklim lokal, topografi dan musim hujan (Macharia et al., 2022), kondisi medan, jenis bioma, dan dominasi sistem hujan konvektif (Paredes-Trejo et al., 2021). Penggunaan CHIRPS sebagai pengisi data yang hilang di provinsi bali memiliki hasil yang baik (Arsanti et al., 2023). Faktor lingkungan tersebut menjadi salah satu penyebab data CHIRPS tidak terlepas dari ketidakpastian akurasi (Nashwan, M.S. et al., 2020) sehingga pemanfaatan data CHIRPS dalam bidang hidroklimatologi diperlukan validasi terlebih dahulu. Penggunaan CHIRPS di Tiongkok memiliki kinerja yang baik di wilayah pesisir selatan seperti lembah sungai Pearl dan delta sungai Yangtze dan mampu mendeteksi hujan yang diinduksi oleh cuaca ekstrim seperti topan (Bai et al., 2018). Penelitian yang mengevaluasi curah hujan satelit di wilayah Pasifik Selatan menunjukkan bahwa CHIRPS memiliki korelasi yang tinggi di wilayah pesisir seperti Timor, Vanuatu, Kepulauan Solomon, dan Bougainville (Wild et al., 2021). Penggunaan CHIRPS juga memiliki hasil yang lebih baik pada area yang luas dibandingkan dengan lahan kering dan semi kering (Liu et al., 2017). Secara umum penggunaan CHIRPS mempunyai akurasi tinggi pada daerah dekat garis pantai (Suryanto et al., 2023).

Belum ada studi Kecamatan Kuta yang memvalidasi CHIRPS secara kuantitatif dan menilai tren ekstrem jangka panjang yang dilakukan sehingga diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai penggunaan satelit. Penelitian ini dilakukan dengan dua metode yaitu pengamatan langsung dari stasiun pengamat hujan terdekat dari titik lokasi dan menggunakan citra satelit. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa akurasi data satelit dengan Pos Hidrologi dan mengamati perubahan iklim melalui pergeseran musim hujan dan perubahan intensitas hujan dengan data hujan satelit. Setelah mendapatkan akurasi data hujan satelit penelitian dilanjutkan dengan menggunakan data hujan satelit untuk mengamati pergeseran musim hujan dan perubahan intensitas hujan pada daerah penelitian. Penentuan estimasi curah hujan satelit dilakukan dengan menggunakan CHIRPS. CHIRPS merupakan data hujan global yang mengkombinasikan antara pengamatan satelit dan stasiun yang ada di bumi dan memiliki durasi perekaman sejak 1981 hingga saat ini dengan resolusi 5 KM (Condom et al., 2020). Penggunaan CHIRPS sebagai data hujan memiliki performa yang lebih baik dari GPM (*Global Precipitation Measurement*) dan memiliki waktu perekaman yang lebih panjang sehingga dapat dimanfaatkan diberbagai aplikasi seperti perubahan iklim (Faisol et al., 2020).

KAJIAN TEORI

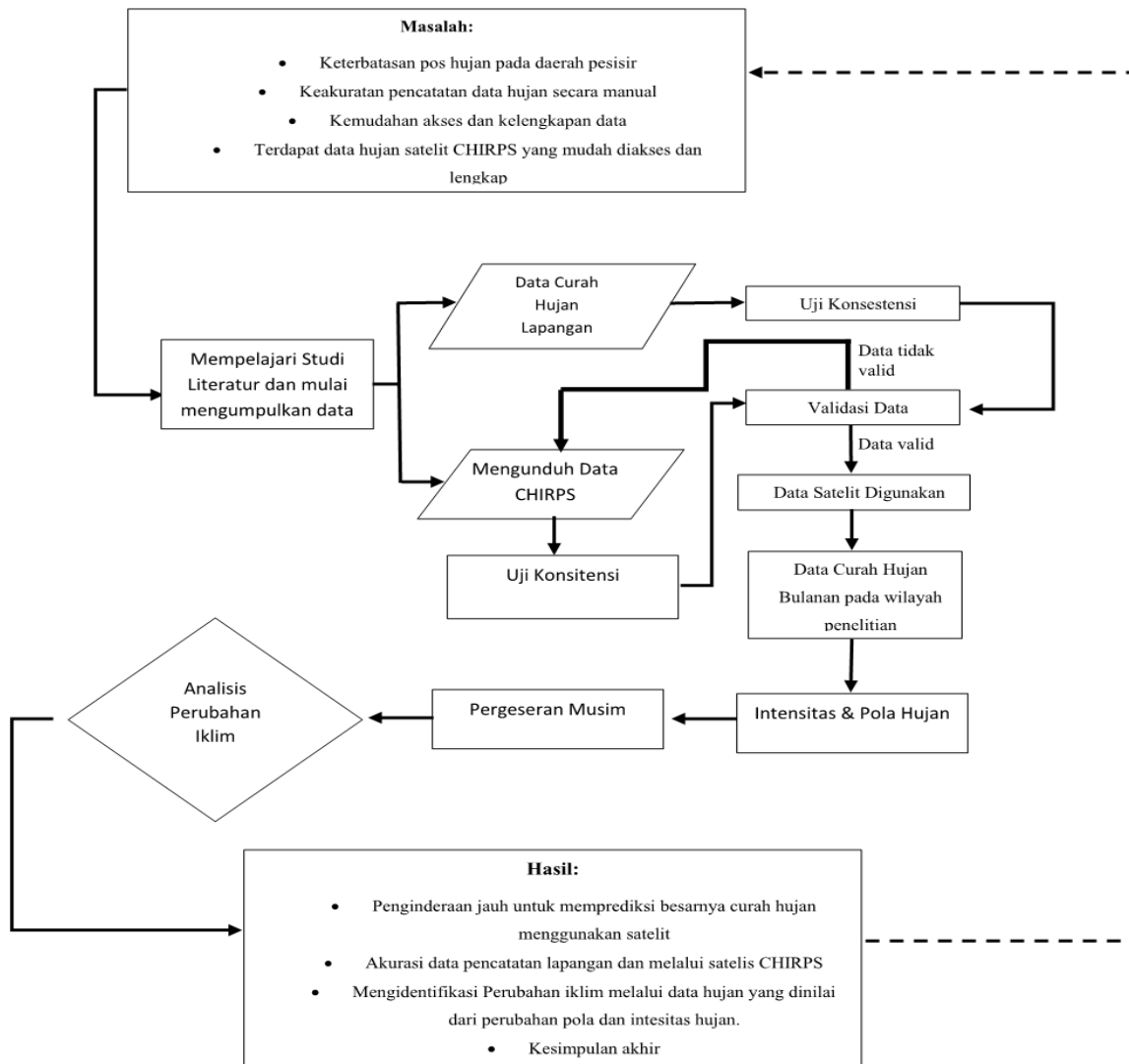
Iklim

Iklim didefinisikan sebagai rata-rata kondisi cuaca yang diamati dalam periode panjang, umumnya minimal tiga dekade, di suatu wilayah tertentu. Pembentukannya dipengaruhi oleh berbagai variabel, meliputi letak geografis, karakteristik topografis, jarak dari perairan luas seperti laut atau samudera, konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer, aktivitas antropogenik, serta fluktuasi radiasi matahari. Lokasi geografis merupakan salah satu determinan utama dalam klasifikasi iklim. Sebagai contoh, wilayah di sekitar garis khatulistiwa umumnya beriklim tropis dengan suhu tinggi dan presipitasi yang intensif, sementara daerah di dekat kutub cenderung beriklim polar dengan suhu ekstrem rendah dan curah hujan minimal. Faktor topografi juga berperan signifikan; ketinggian tempat memengaruhi suhu udara dan kerapatannya, sehingga wilayah dataran tinggi biasanya memiliki iklim lebih sejuk dibandingkan dataran rendah.

Pengaruh perairan luas juga tidak dapat diabaikan (Jayanti, 2017). Kawasan pesisir cenderung memiliki kelembapan lebih tinggi akibat proses evaporasi air laut. Di sisi lain, konsentrasi gas rumah kaca—seperti karbon dioksida, metana, dan ozon—berkontribusi besar terhadap dinamika iklim. Peningkatan emisi gas rumah kaca akibat aktivitas manusia, termasuk pembakaran bahan bakar fosil dan praktik pertanian intensif, telah memicu fenomena pemanasan global dan perubahan iklim.

Kerangka Konsep

Salah satu sumber data yang digunakan adalah *ClimateHazard Group InfraredPrecipitationwithStation (CHIRPS)*, sebuah dataset curah hujan global yang mengintegrasikan data satelit dengan pengamatan stasiun darat. CHIRPS menyediakan data harian, bulanan, dan tahunan sejak tahun 1981 hingga sekarang. Dengan membandingkan data lapangan dan data satelit, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi akurasi satelit dalam merekam data hujan sekaligus mengidentifikasi tren perubahan iklim di lokasi penelitian.



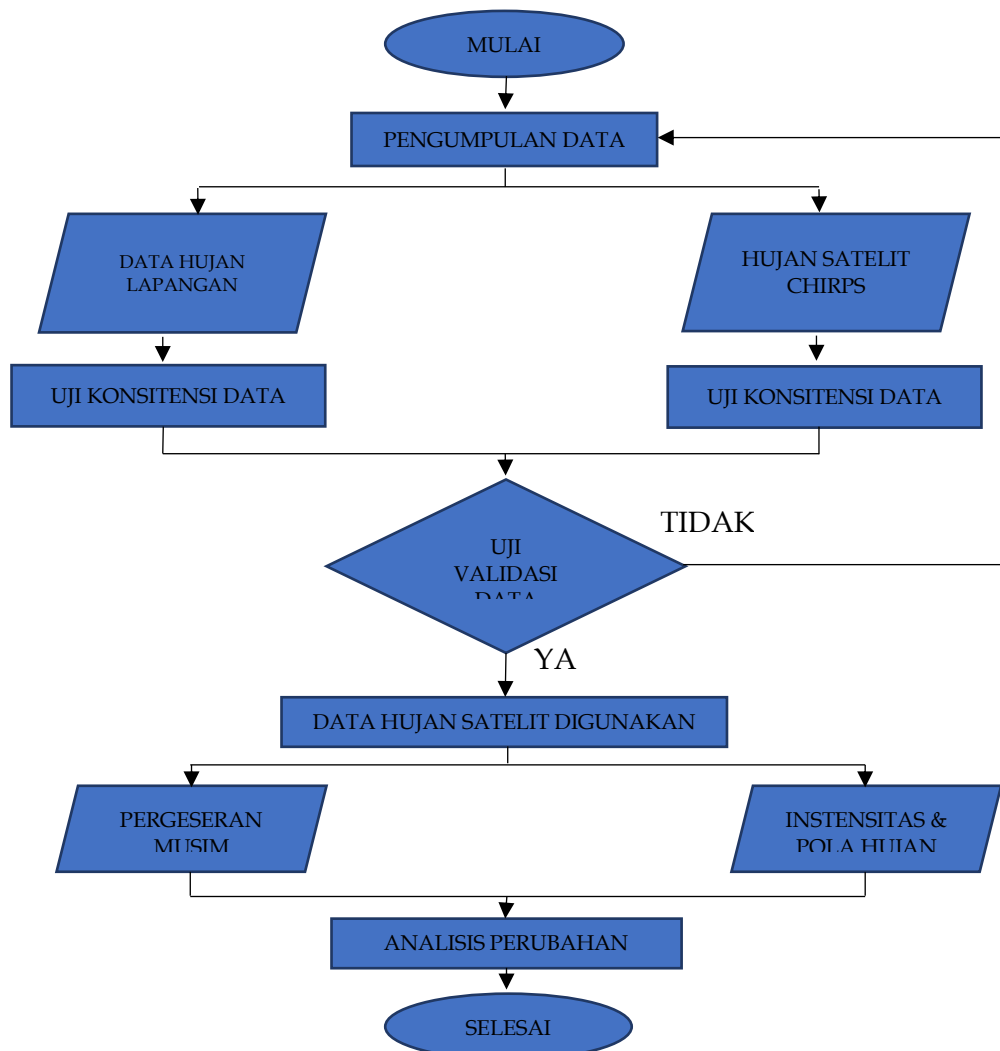
Gambar 1. Kerangka Konseptual

METODOLOGI

Studi ini bertujuan untuk mengkaji perubahan iklim di wilayah pesisir melalui pemanfaatan data penginderaan jauh. Identifikasi perubahan iklim dilakukan dengan menganalisis variasi pola curah hujan, fluktuasi intensitas presipitasi, serta pergeseran temporal musim hujan antar tahun. Sebelum diaplikasikan dalam penelitian, data hujan satelit terlebih dahulu melalui proses validasi dengan membandingkannya terhadap data hujan hasil pengukuran in situ pada lokasi yang sama selama periode 10 tahun.

Setelah validasi menunjukkan tingkat akurasi yang memadai, data satelit kemudian diaplikasikan pada cakupan wilayah yang lebih luas. Dalam penelitian ini, data CHIRPS

(*Climate Hazards Group Infrared Precipitation with Station*) periode 1981-2024 digunakan sebagai basis analisis perubahan iklim. Melalui pengamatan data hujan CHIRPS dalam rentang waktu 30 tahun (periode klimatologis standar), studi ini diharapkan dapat mengungkap dinamika perubahan pola hujan, variasi intensitas presipitasi, serta pergeseran musim hujan yang terjadi di wilayah studi.



Gambar 2. Kerangka Penelitian

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Akurasi Curah Hujan Satelit

Studi ini dirancang untuk mengevaluasi validitas data presipitasi yang diperoleh dari sistem satelit CHIRPS dalam merepresentasikan kondisi curah hujan aktual di lokasi penelitian. Metode analisis statistik diterapkan untuk membandingkan data pengukuran lapangan dengan data satelit. Setelah konfirmasi akurasi data satelit melalui stasiun pengamatan hujan permukaan, penelitian kemudian berfokus pada analisis dinamika iklim di wilayah Kecamatan Kuta.

Tabel 1. Hasil Uji Akurasi

No	Pengujian	Hasil Uji	Standar
1	Uji Korelasi	0,934	$1 > R > 0,8$ Baik $0,8 > R > 0,5$ Sedang $0,5 < R$ Kecil
2	Uji Determinasi (R^2)	Polinomial = 0,873 Linear = 0,878 Berganda = 0,847	$1 > R > 0,8$ Baik $0,8 > R > 0,5$ Sedang $0,5 < R$ Kecil
3	Uji Kesalahan RMSE & MAE	RMSE = 59,812 MAE = 40,036 Perbandingan = 1,49	Hasil dari penelitian sebelumnya nilai uji berkisar 15 – 170 Hasil perbandingan RMSE dan MAE $< 1,5$ untuk hasil yg baik
4	Uji Bias	-5,344	MBE < 0 : Satelit menilai terlalu tinggi curah hujan, MBE > 0 : Satelit menilai terlalu rendah curah hujan. MBE = 0: Tidak ada bias rata-rata
5	Uji Ketepatan Model (NSE)	0,871	$> 0,67$ Kuat
6	Uji T (t test)	1,008	Masuk dalam perhitungan table derajat kepercayaan

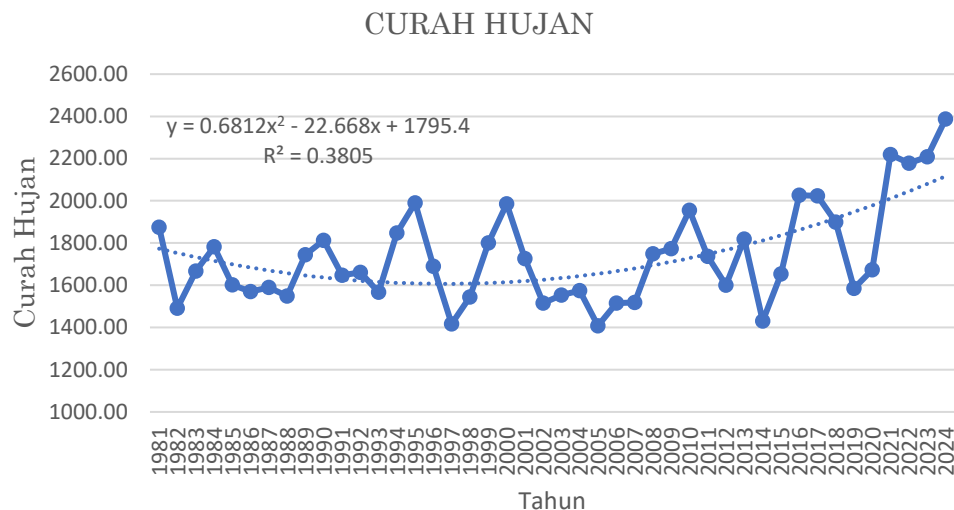
Hasil analisis pada Tabel 1 mengindikasikan adanya kecenderungan *overestimate* dalam pencatatan data hujan CHIRPS. Temuan ini sejalan dengan penelitian Wiwoho *et al.*, (2021) yang juga melaporkan kecenderungan serupa pada data satelit CHIRPS. Analisis komparatif antara data satelit dan pengamatan lapangan di stasiun AWS Ngurah Rai menghasilkan nilai korelasi 0,934 dan koefisien determinasi 0,878 (model regresi polinomial). Nilai-nilai statistik ini mengkonfirmasi bahwa data CHIRPS memiliki hubungan yang kuat dengan pengamatan BMKG dan mampu merepresentasikan kondisi aktual curah hujan di lapangan. Tingkat korelasi yang tinggi ini membuktikan bahwa data CHIRPS dapat langsung diaplikasikan untuk analisis lebih lanjut tanpa perlu proses koreksi tambahan.

Penelitian ini melakukan serangkaian uji statistik untuk mengevaluasi akurasi data CHIRPS dalam analisis klimatologi. Hasil uji Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE) sebesar 0.871 menunjukkan performa model yang baik sesuai standar Motilove *et al.*, sementara uji-t dengan nilai -1.008 mengindikasikan stabilitas data CHIRPS terhadap pengamatan lapangan berdasarkan kriteria Soewarno (1995). Temuan ini diperkuat oleh hasil pengujian konsistensi yang menunjukkan kesesuaian tinggi antara data satelit dan pengamatan langsung. Untuk mengukur presisi estimasi, penelitian menghitung Root Mean Square Error (RMSE) yang menghasilkan nilai 59.812. Nilai ini merepresentasikan tingkat deviasi antara prediksi satelit dengan kondisi aktual di lapangan. Secara keseluruhan, rangkaian uji statistik ini tidak hanya memvalidasi keandalan data CHIRPS, tetapi juga membuktikan kelayakannya untuk berbagai aplikasi klimatologi tanpa memerlukan koreksi signifikan. Hasil konsistensi yang tinggi antar dataset semakin memperkuat posisi data CHIRPS sebagai sumber informasi presipitasi yang kredibel.

Berdasarkan penelitian Samosir, *etal.* (2021), Partini, *etal.* (2021), dan Mamenun, *etal.* (2014) dalam Modul Analisis Curah Hujan menggunakan satelit oleh direktorat jenderal sumber daya air (2022) didapatkan nilai bervariasi yang berkisar 15 – 180. Dari hasil Analisa, nilai RMSE pada penelitian ini berada pada nilai 59,812. Nilai tersebut masih berada pada kisaran nilai acuan terdahulu, sehingga dapat dikatakan bahwa nilai RMSE yang didapatkan pada penelitian ini sudah sesuai dapat digunakan untuk pengambilan keputusan karena masih dalam kisaran nilai yang ada pada penelitian sebelumnya. Secara umum keakuratan data hujan konsisten memberikan hasil

yang baik seperti pada penelitian sebelumnya yang menyatakan keandalan data hujan CHIRPS dalam memberikan data hujan (Funk et al., 2015).

Analisis perubahan iklim di kecamatan Kuta



Gambar 3.Data Curah Hujan Kecamatan Kuta

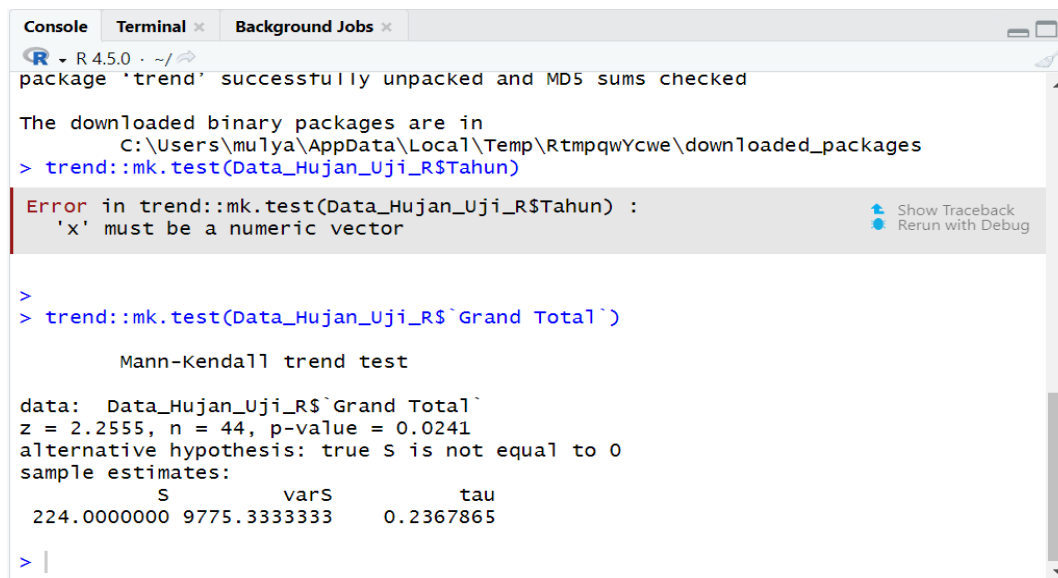
Gambar 3 secara visual menunjukkan pola kenaikan curah hujan yang tercermin dari garis tren polinomial. Pemilihan model polinomial dalam analisis ini didasarkan pada kemampuannya yang lebih unggul dalam menangkap dinamika perubahan tren dibandingkan pendekatan linier. Hal ini sejalan dengan rekomendasi berbagai studi iklim regional di Indonesia dan Asia Tenggara yang menyarankan penggunaan regresi polinomial untuk analisis tren jangka panjang, khususnya ketika model linier menunjukkan nilai R^2 yang tidak memadai. Hasil analisis statistik melalui Rstudio memperkuat temuan visual tersebut, dengan nilai p-value uji Mann-Kendall sebesar 0.0241 ($p < 0.05$) yang mengindikasikan kenaikan yang signifikan secara statistik.

Nilai z-score sebesar 2.55 dari uji Mann-Kendall periode 1981-2024 semakin mempertegas adanya tren peningkatan yang konsisten setiap tahunnya. Tren positif ini tidak hanya bersifat gradual, tetapi juga menunjukkan akselerasi tertentu yang terlihat dari bentuk kurva polinomial. Temuan ini memiliki implikasi penting bagi pemahaman kita tentang perubahan iklim mikro di wilayah pesisir, khususnya dalam konteks peningkatan risiko hidrometeorologi. Dari perspektif metodologis, keberhasilan penerapan pendekatan polinomial dalam penelitian ini mendukung penggunaan metode non-linier untuk analisis variabel iklim di wilayah tropis, dimana pola presipitasi seringkali menunjukkan fluktuasi kompleks yang tidak dapat diakomodasi oleh model linier sederhana.

Hasil analisis ini konsisten dengan berbagai studi sebelumnya yang melaporkan peningkatan curah hujan di wilayah selatan Indonesia. Pola kenaikan yang teramati juga sesuai dengan proyeksi perubahan iklim global yang memprediksi intensifikasi siklus hidrologi di daerah tropis. Lebih lanjut, temuan ini memberikan dasar empiris yang kuat bagi pengembangan model iklim regional yang lebih akurat, sekaligus menegaskan pentingnya pemantauan jangka panjang menggunakan pendekatan statistik yang robust. Validasi melalui multiple statistical test (Mann-Kendall, regresi polinomial, dan analisis z-score) memberikan tingkat kepercayaan yang tinggi terhadap temuan penelitian ini.

Berdasarkan analisa grafik juga didapatkan hasil nilai persamaan $y = 0,6182x^2 - 22,668x + 1795,4$ yang bila dilakukan perhitungan lebih lanjut dari persamaan ini didapatkan hasil kenaikan pertahunnya yaitu 7,92 mm/tahun. Dari hasil pengujian yang sudah dilakukan didapatkan bahwa tren signifikan dengan arah positif yang mengindikasikan bahwa iklim di wilayah ini menjadi

lebih basah. Kenaikan ini tidak bersifat musiman atau fluktuatif biasa, tetapi konsisten dari tahun ke tahun yang menjadi salah satu indikator perubahan iklim. Temuan ini juga konsisten dengan hasil penelitian yang menyatakan bahwa sebagian wilayah Indonesia terutama bagian selatan mengalami tren peningkatan intensitas hujan tahunan akibat iklim global seperti ENSO dan pemanasan global (Supari et al., 2017).



```
Console | Terminal x | Background Jobs x
R 4.5.0 ~ /
package 'trend' successfully unpacked and MD5 sums checked

The downloaded binary packages are in
C:\Users\mulya\AppData\Local\Temp\RtmpqWYcwe\downloaded_packages
> trend::mk.test(Data_Hujan_Uji_R$Tahun)

Error in trend::mk.test(Data_Hujan_Uji_R$Tahun) :
  'x' must be a numeric vector

Show Traceback
Rerun with Debug

>
> trend::mk.test(Data_Hujan_Uji_RS`Grand Total`)

Mann-Kendall trend test

data: Data_Hujan_Uji_RS`Grand Total`
z = 2.2555, n = 44, p-value = 0.0241
alternative hypothesis: true S is not equal to 0
sample estimates:
      S      varS      tau
224.0000000 9775.3333333 0.2367865

> |
```

Gambar 4.Hasil Uji Aplikasi Rstudio

Perubahan intensitas dan pola hujan

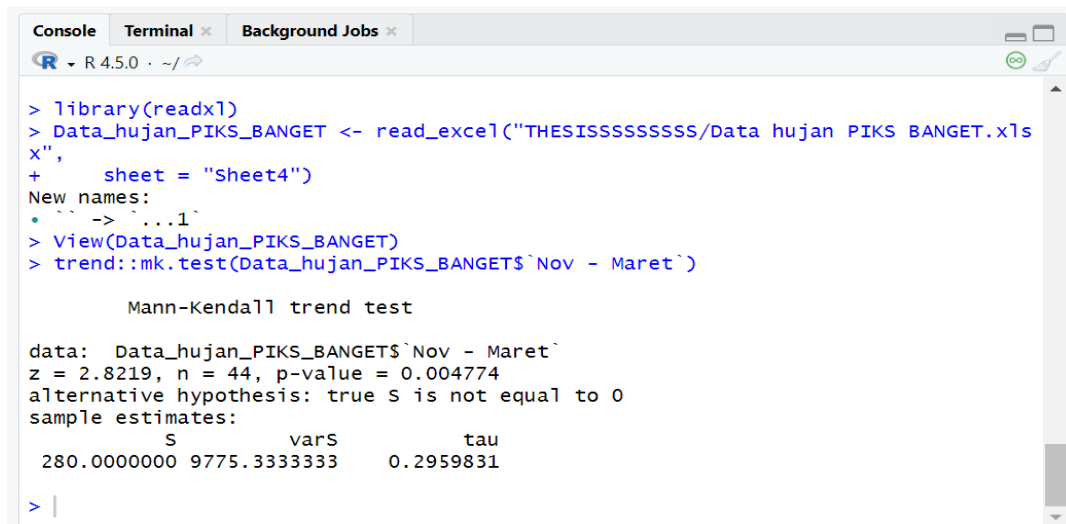
Setelah mengidentifikasi perubahan iklim melalui analisis sebelumnya, penelitian ini melakukan klasifikasi temporal data hujan Kecamatan Kuta ke dalam tiga kategori utama: bulan basah, bulan kering, dan masa peralihan. Proses stratifikasi ini penting untuk memahami variabilitas musiman dan karakteristik presipitasi di wilayah studi. Hasil klasifikasi mengungkapkan tren peningkatan curah hujan yang signifikan secara statistik, dengan laju kenaikan rata-rata mencapai 7.35 mm/tahun, mengindikasikan perubahan pola hidrologi yang patut diperhatikan.

Fokus penelitian kemudian difokuskan pada periode musim hujan (November-Maret) yang dianalisis menggunakan uji Mann-Kendall. Pemilihan metode non-parametrik ini didasarkan pada kemampuannya yang andal dalam mendeteksi tren temporal tanpa asumsi distribusi data yang ketat. Analisis musiman ini bertujuan untuk: (1) mengkonfirmasi keberadaan tren perubahan curah hujan, (2) mengkuantifikasi besaran perubahan, dan (3) memahami pola temporal perubahan tersebut dalam konteks siklus hidrologi tahunan. Hasil analisis diharapkan dapat memberikan gambaran komprehensif tentang dinamika presipitasi musiman di wilayah pesisir Bali.

Temuan peningkatan curah hujan yang signifikan ini memiliki beberapa implikasi penting. Pertama, perubahan tersebut dapat mempengaruhi ketersediaan air tanah dan pola tanam di wilayah pertanian. Kedua, peningkatan intensitas hujan selama musim hujan berpotensi meningkatkan risiko bencana hidrometeorologi seperti banjir dan longsor. Dari perspektif metodologis, pendekatan klasifikasi musiman yang digunakan dalam penelitian ini terbukti efektif dalam mengidentifikasi perubahan iklim skala lokal, sekaligus menyoroti pentingnya analisis berbasis musim dalam studi perubahan iklim di wilayah tropis.

Perubahan intensitas hujan pada musim hujan mendukung indikasi adanya perubahan iklim yang terjadi pada kecamatan Kuta. Musim hujan menunjukkan tren naik yang ditunjukkan oleh nilai $Z = 2,82$. Kenaikan tren ini juga didukung oleh nilai $p\text{-value} = 0,0048$ yang merupakan $<0,05$ sehingga menunjukkan adanya tren yang signifikan. Curah hujan pada musim kemarau

menunjukkan adanya penurunan curah hujan yang tidak signifikan. Dari hasil pengujian man-kendall didapatkan hasil $Z = -0,59$ yang menunjukkan adanya tren penurunan curah hujan. Hasil p -value menunjukkan hasil 0,55 yang mengindikasikan tidak adanya tren curah hujan yang signifikan. Hasil pengujian man-kendall curah hujan musim kemarau disajikan pada Gambar 6.

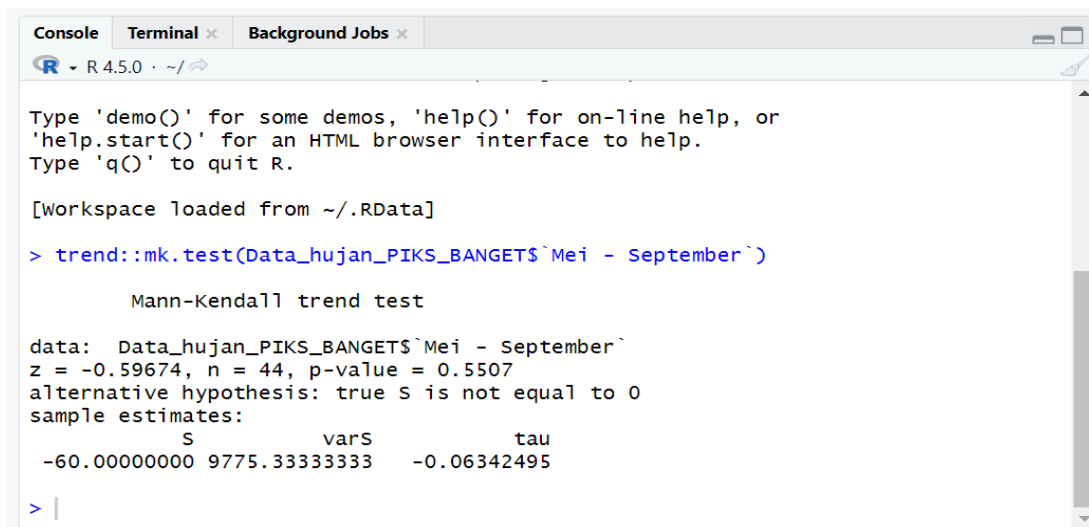


```
> library(readxl)
> Data_hujan_PIKS_BANGET <- read_excel("THESISSSSSSSSS/Data hujan PIKS BANGET.xls",
+   sheet = "Sheet4")
New names:
  ` ` -> `...1`
> View(Data_hujan_PIKS_BANGET)
> trend::mk.test(Data_hujan_PIKS_BANGET$`Nov - Maret`)

Mann-Kendall trend test

data: Data_hujan_PIKS_BANGET$`Nov - Maret`
z = 2.8219, n = 44, p-value = 0.004774
alternative hypothesis: true S is not equal to 0
sample estimates:
      S      varS      tau
280.0000000 9775.3333333  0.2959831
```

Gambar 5. Pengujian Musim Hujan dengan Aplikasi Rstudio



```
Type 'demo()' for some demos, 'help()' for on-line help, or
'help.start()' for an HTML browser interface to help.
Type 'q()' to quit R.

[Workspace loaded from ~/.RData]

> trend::mk.test(Data_hujan_PIKS_BANGET$`Mei - September`)

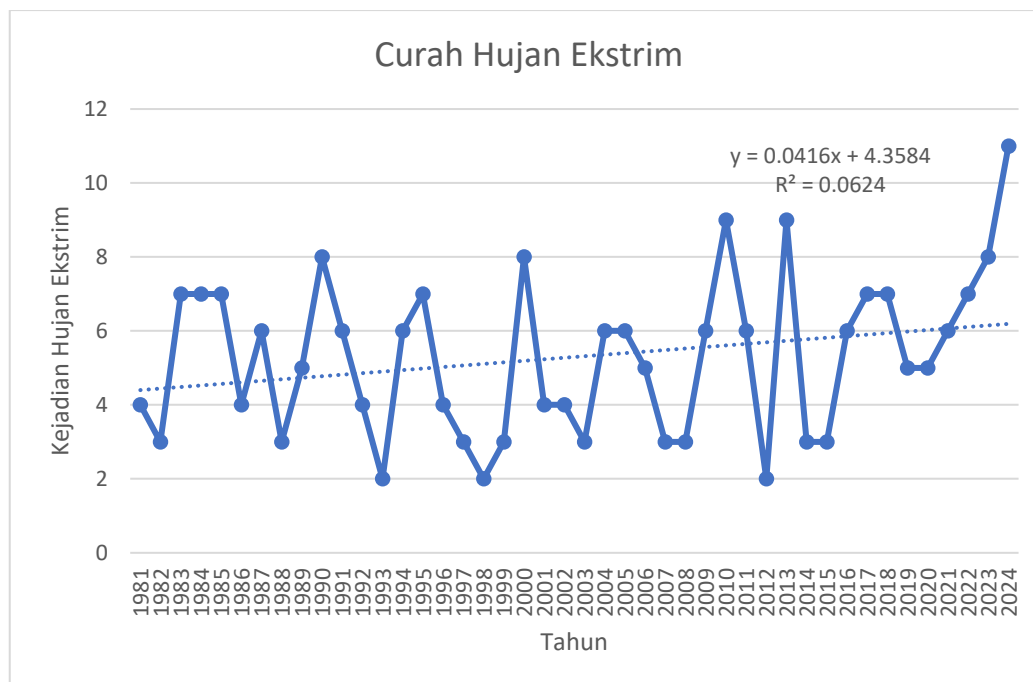
Mann-Kendall trend test

data: Data_hujan_PIKS_BANGET$`Mei - September`
z = -0.59674, n = 44, p-value = 0.5507
alternative hypothesis: true S is not equal to 0
sample estimates:
      S      varS      tau
-60.0000000 9775.3333333 -0.06342495
```

Gambar 6. Pengujian Curah Hujan Musim Kemarau

Data satelit CHIRPS merekam peningkatan frekuensi kejadian hujan ekstrem harian ($>50\text{mm/hari}$ berdasarkan kriteria ETCCDI) yang menunjukkan tren tahunan yang konsisten. Gambar 6 secara jelas mengilustrasikan akselerasi kejadian ekstrem ini khususnya pada periode pasca 2019, mengindikasikan perubahan signifikan dalam pola presipitasi ekstrem di wilayah studi. Temuan ini memperoleh validasi dari penelitian Supari *et al.*, (2017) yang melaporkan peningkatan serupa di berbagai wilayah Indonesia termasuk Bali. Analisis lebih mendalam menunjukkan bahwa: (1) peningkatan kejadian ekstrem ini berkorelasi dengan perubahan parameter iklim global, (2) frekuensi kejadian menunjukkan pola non-linier dengan percepatan pada tahun-tahun terakhir, dan (3) distribusi spasial kejadian ekstrem cenderung terkonsentrasi di wilayah tertentu. Temuan ini semakin memperkuat bukti-bukti tentang dampak perubahan

iklim di wilayah tropis, sekaligus menegaskan pentingnya pemantauan berbasis satelit dengan resolusi tinggi untuk deteksi dini perubahan pola presipitasi ekstrem.



Gambar 7.Grafik Kejadian Hujan Ekstrim

SIMPULAN

Data curah hujan dari satelit CHIRPS menunjukkan tingkat akurasi yang baik dalam menggambarkan kondisi hujan di Kecamatan Kuta, Kabupaten Badung. Hal ini dibuktikan dengan korelasi sebesar 0,934 dan koefisien determinasi 0,878 jika dibandingkan dengan data dari stasiun meteorologi Ngurah Rai. Analisis kecenderungan menggunakan metode Mann-Kendall dan Sen's slope mengungkap adanya peningkatan curah hujan yang signifikan, yakni +7,92 mm per tahun (dengan interval kepercayaan 95%: +0,83 hingga +13,13 mm/tahun) dalam rentang waktu 1981–2024, menandakan potensi kondisi yang semakin basah. Indeks curah hujan ekstrem juga menunjukkan peningkatan yang jelas, khususnya pada RX1day (curah hujan harian tertinggi) setelah tahun 2019, sesuai dengan penelitian terdahulu dan perkiraan perubahan iklim di daerah tropis.

Studi ini memiliki beberapa kekurangan, termasuk terbatasnya validasi data yang hanya menggunakan satu stasiun hujan, kemungkinan adanya bias akibat kondisi geografis dan lokasi dekat pantai, serta resolusi CHIRPS yang terbatas (0,05° atau sekitar 5 km). Selain itu, belum dilakukannya pengujian verifikasi kategorikal seperti POD, FAR, dan CSI berarti kemampuan deteksi kejadian ekstrem masih perlu dievaluasi lebih lanjut. Penelitian lanjutan disarankan untuk memperbanyak jumlah stasiun validasi demi representasi spasial yang lebih akurat, serta menggabungkan data iklim lain seperti suhu permukaan laut atau indeks ENSO untuk analisis yang lebih mendalam. Dari perspektif kebijakan, RX1day terbukti menjadi indikator ekstrem yang paling sensitif di Kuta, sehingga berpotensi digunakan dalam pengembangan sistem peringatan dini berbasis satelit untuk mengurangi risiko bencana hidrometeorologi. Hasil penelitian ini menjadi landasan penting dalam menyusun perencanaan adaptasi dan pengelolaan sumber daya air di wilayah pesisir yang memiliki jumlah stasiun pengukur hujan konvensional yang terbatas.

DAFTAR PUSTAKA

- Adiningsih, E. S., Sofan, P., & Prasasti, I. (2016). Pemanfaatan Teknologi Penginderaan Jauh untuk Monitoring Kejadian Iklim Ekstrem di Indonesia The Applications of Remote Sensing Technology for Extreme Climate Monitoring in Indonesia. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 10(2), 67–78.
- Ardana, P. D. H., Sudika, I. G. M., & Hadinata, I. W. A. (2023). Rasionalisasi Jaringan Stasiun Curah Hujan Pada Daerah Aliran Sungai Tukad Mati. *PADURAKSA: Jurnal Teknik Sipil Universitas Warmadewa*, 12(1), 85–96.
- Arsanti, A. N. ., Yuliara, I. M., & Yuda, I. W. A. (2023). Kajian Pengembangan Pengisian Data Hujan Yang Hilang Dengan Data CHIRPS Di Wilayah Bali. *Kappa Journal*, 7(2), 193–200.
- Bai, L., Shi, C., Li, L., Yang, Y., & Wu, J. (2018). Accuracy of CHIRPS Satellite-Rainfall Products over Mainland China. *Remote Sensing*, 10(3), 362.
- Cipto, H., Harisuseso, D., & Fidari, J. S. (2023). Studi Pemanfaatan Data Satelit CHIRPS Untuk Estimasi Curah Hujan Di Sub DAS Abab. *Jurnal Teknologi Dan Rekayasa Sumber Daya Air*, 3(2), 540–549. <https://doi.org/10.21776/ub.jtresda.2023.003.02.046>
- Clarke, M., Davidson, M., Egerer, M., Anderson, E., & Fouch, N. (2019). The underutilized role of community gardens in improving cities' adaptation to climate change: a review. *People, Place and Policy Online*, 12(3), 241–251. <https://doi.org/10.3351/ppp.2019.3396732665>
- Condom, T., Martínez, R., Pabón, J. D., Costa, F., Pineda, L., Nieto, J. J., López, F., & Villacis, M. (2020). Climatological and Hydrological Observations for the South American Andes: In situ Stations, Satellite, and Reanalysis Data Sets. *Frontiers in Earth Science*, 8(April), 1–20. <https://doi.org/10.3389/feart.2020.00092>
- Dasanto, B. D., Sulistiyanti, S., Anria, A., & Boer, R. (2022). Dampak Perubahan Iklim Terhadap Kenaikan Muka Air Laut Di Wilayah Pesisir Pangandaran. *RISALAH KEBIJAKAN PERTANIAN DAN LINGKUNGAN Rumusan Kajian Strategis Bidang Pertanian Dan Lingkungan*, 9(2), 82–94. <https://doi.org/10.29244/jkebijakan.v9i2.28039>
- Faisol, A., Indarto, Novita, E., & Budiyo. (2020). Komparasi Antara Climate Hazards Group Infrared Precipitation With. *Jurnal Teknologi Pertanian ANDALAS*, 24(2), 148–156.
- Funk, C., Peterson, P., Landsfeld, M., Pedreros, D., Verdin, J., Shukla, S., Husak, G., Rowland, J., Harrison, L., Hoell, A., & Michaelsen, J. (2015). The climate hazards infrared precipitation with stations - A new environmental record for monitoring extremes. *Scientific Data*, 2, 1–21. <https://doi.org/10.1038/sdata.2015.66>
- Gebremedhin, M. A., Lubczynski, M. W., Maathuis, B. H. P., & Teka, D. (2021). Novel approach to integrate daily satellite rainfall with in-situ rainfall, Upper Tekeze Basin, Ethiopia. *Atmospheric Research*, 248(July 2020), 105135. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105135>
- Hadi, B. S. (2017). Deteksi Gejala Klimatologis Dan Pemantauan Perubahan Iklim Global Dengan Teknik Penginderaan Jauh. *Geomedia: Majalah Ilmiah Dan Informasi Kegeografian*, 5(2). <https://doi.org/10.21831/gm.v5i2.14196>
- IPCC. (2023). *CLIMATE CHANGE 2023 Synthesis Report Summary for Policymakers*.
- Jayanti, R. D. (2017). *PEMANFAATAN PENGINDERAAN JAUH UNTUK ANALISIS PERUBAHAN IKLIM BERDASARKAN SUHU PERMUKAAN PADA TAHUN 2007 - 2016 (Studi kasus : Kota Surabaya)*.
- Liu, X., Liu, F. M., Wang, X. X., Li, X. D., Fan, Y. Y., Cai, S. X., & Ao, T. Q. (2017). Combining rainfall data from rain gauges and TRMM in hydrological modelling of Laotian data-sparse basins. *Applied Water Science*, 7(3), 1487–1496. <https://doi.org/10.1007/s13201-015-0330-y>
- Macharia, D., Fankhauser, K., Selker, J. S., Neff, J. C., & Thomas, E. A. (2022). Validation and Intercomparison of Satellite-Based Rainfall Products over Africa with TAHMO in-Situ Rainfall Observations. *Journal of Hydrometeorology*.
- Nashwan, M.S., Shahid, S., Dewan, A., Ismail, T., & Alias, N. (2020). Performance of Five High Resolution Satellite-Based Precipitation Products in Arid Region of Egypt: An Evaluation.

Atmospheric Research.

- Nisa, D. K., Qomariyah, S., & Solichin, S. (2015). Analisis Indikasi Perubahan Iklim (Hujan) Di Wilayah Kota Surakarta. *Matriks Teknik Sipil*, 3(1), 285. <https://jurnal.uns.ac.id/matriks/article/view/37338>
- Paredes-Trejo, F., Alves Barbosa, H., Kumar, Venkata Lakshmi T., Thakur, K. M., & Buriti, C. de O. (2021). Assessment of the CHIRPS-Based Satellite Precipitation Estimates. *In Inland Waters - Dynamics and Ecology*.
- Prayoga, B. R. M., Yananto, A., & Kusumo, A. Della. (2017). ANALISIS KORELASI KERAPATAN TITIK API DENGAN CURAH HUJAN DI PULAU SUMATERA DAN KALIMANTAN Correlational Analysis between Hotspots Density and Rainfall in Sumatera and Kalimantan. *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, 18(1), 17–24.
- Setiawan, O. (2017). ANALISIS VARIABILITAS CURAH HUJAN DAN SUHU DI BALI. *Balai Penelitian Teknologi Hasil Hutan Bukan Kayu*, 9(1), 66–79.
- Supari, Tangang, F., Juneng, L., & Aldrian, E. (2017). Observed changes in extreme temperature and precipitation over Indonesia. *International Journal of Climatology*, 37(4), 1979–1997. <https://doi.org/10.1002/joc.4829>
- Suryanto, J., Amprin, & Anisum. (2023). Validasi Curah Hujan Harian Chirps Precipitation Satellite Product Di Provinsi Kalimantan Barat. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian Dan Biosistem*, 11(1), 73–88. <https://doi.org/10.29303/jrpb.v11i1.442>
- Suwarman, R., Riawan, E., Simanjuntak, Y. S. M., & Irawan, D. E. (2022). Kajian Perubahan Iklim di Pesisir Jakarta Berdasarkan Data Curah Hujan dan Temperatur. *Buletin Oseanografi Marina*, 11(1), 99–110. <https://doi.org/10.14710/buloma.v11i1.42749>
- Wild, A., Chua, Z., & Kuleshov, Y. (2021). Evaluation of Satellite Precipitation Estimates over the South West Pacific Region. *Remote Sensing*, 13(19), 29–39.
- Wiwoho, B. S., Astuti, I. S., Alfarizi, I. A. G., & Suchyo, H. R. (2021). Validation of Three Daily Satellite Rainfall Products in a Humid Tropic Watershed, Brantas, Indonesia: Implications to Land Characteristics and Hydrological Modelling. *Hydrology*, 8(4).
- Yépez, S., Velásquez, G., Torres, D., Saavedra-Passache, R., Pincheira, M., Cid, H., Rodríguez-López, L., Contreras, A., Frappart, F., Cristóbal, J., Pons, X., Flores, N., & Bourrel, L. (2024). Spatiotemporal Variations in Biophysical Water Quality Parameters: An Integrated In Situ and Remote Sensing Analysis of an Urban Lake in Chile. *Remote Sensing*, 16(2).
- Yusuf, D. (2017). *Penginderaan Jauh*.
- Zikra, M., Suntoyo, & Lukijanto. (2015). Climate Change Impacts on Indonesian Coastal Areas. *Procedia Earth and Planetary Science*, 14(April 2016), 57–63. <https://doi.org/10.1016/j.proeps.2015.07.085>