

Pendekatan Statistik Klasifikasi Curah Hujan Dalam Pengelolaan Sumber Daya Air Berkelanjutan

Endah Kurniyaningrum^{1*}, Astri Rinanti², Liana Herlina¹, Chindy Victorya¹, Nyimas Hazel Lahfahdila Wahab¹, Muhammad Luthfi Assidik³, Ulfa Fatmasari Faisal¹, Aksan Kawanda¹, Randhi Saily^{4,5}

¹Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Trisakti, Jakarta, 11440, Indonesia

²Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Arsitektur Landscap dan Teknik Lingkungan, Universitas Trisakti, Jakarta, 11440, Indonesia

³Magister of Water Resources Engineering, Faculty of Bioscience Engineering, KU Leuven University, Leuven, 3000, Belgium

⁴Jurusan Teknik Sipil, Universitas Riau, Kampus Bina Widya KM. 12,5 Simpang Baru, Pekanbaru, 28293, Indonesia

⁵Center for Peatland and Disaster Studies (CPDS), Universitas Riau, Pekanbaru, Indonesia

[*kurniyaningrum@trisakti.ac.id](mailto:kurniyaningrum@trisakti.ac.id)

Abstract

Wilayah Daerah Aliran Sungai (DAS) Juana di Jawa Tengah merupakan kawasan dengan kerentanan banjir tinggi yang terus mengalami tekanan hidrometeorologis akibat perubahan tutupan lahan serta variabilitas iklim global. Fenomena iklim seperti El Niño–Southern Oscillation (ENSO) dan Madden Julian Oscillation (MJO) meningkatkan ketidakpastian curah hujan, sehingga diperlukan pendekatan ilmiah berbasis data jangka panjang untuk mendukung strategi mitigasi banjir yang lebih presisi. Penelitian ini bertujuan menganalisis tren curah hujan jangka panjang pada DAS Juana dan Kabupaten Kendal menggunakan metode statistik Mann–Kendall, menyusun klasifikasi curah hujan berdasarkan tren yang teridentifikasi, serta merumuskan rekomendasi mitigasi banjir berbasis analisis tersebut.

Data curah hujan selama 34 tahun diperoleh dari BMKG dan dianalisis melalui perhitungan statistik S , varian S , nilai Z , serta pengujian tingkat signifikansi. Hasil analisis menunjukkan bahwa sebagian besar stasiun tidak mengalami tren curah hujan yang signifikan, namun ditemukan beberapa periode dengan kecenderungan signifikan yang berkorelasi kuat dengan kejadian iklim ekstrem global, khususnya ENSO. Klasifikasi curah hujan yang dihasilkan mengindikasikan perbedaan jelas antara musim hujan (≥ 115 mm) dan musim kemarau (< 85 mm). Selain itu, evaluasi akurasi model menunjukkan perlunya koreksi data menggunakan fungsi polinomial untuk meningkatkan presisi prediksi.

Penelitian ini menegaskan pentingnya penggunaan deret waktu jangka panjang minimum 30 tahun untuk menghasilkan klasifikasi curah hujan dengan akurasi hingga 100%. Temuan ini berkontribusi terhadap pengembangan metodologi klasifikasi curah hujan berbasis statistik di wilayah DAS tropis, serta menyediakan dasar ilmiah bagi penguatan strategi mitigasi banjir dan perencanaan pengelolaan sumber daya air yang lebih adaptif

Kata Kunci: Curah hujan, Mann Kendal, Enso, perubahan iklim

1. Latar Belakang

Iklim merupakan salah satu faktor fundamental yang sangat mempengaruhi berbagai aspek kehidupan dan sektor pembangunan. Variasi unsur-unsur iklim seperti suhu, kelembapan, angin, dan terutama curah hujan, sangat dipengaruhi oleh letak geografis suatu wilayah, termasuk lintang, bujur, serta topografi permukaan bumi yang tidak seragam [1]. Curah hujan menjadi komponen iklim yang sangat krusial karena perannya langsung dalam siklus hidrologi dan berbagai aktivitas manusia, mulai dari pertanian, ketersediaan air bersih, hingga pengelolaan bencana. Dalam jangka panjang, perubahan intensitas curah hujan (selama 10–30 tahun) berdampak signifikan terhadap estimasi potensi air wilayah, perencanaan tata guna lahan, dan keberlanjutan pembangunan [2].

Perubahan iklim global telah meningkatkan dinamika serta ketidakpastian unsur-unsur iklim, khususnya curah hujan. Fenomena ini dan penguatan siklus hidrologi global [3]. Kondisi ini menyebabkan peningkatan penguapan, distribusi uap air yang tidak merata di atmosfer, pada akhirnya memunculkan pola curah hujan ekstrem yang tidak terprediksi baik secara spasial maupun temporal [4][5][6][7]. Akibatnya, beberapa wilayah mengalami curah hujan yang sangat tinggi, sementara wilayah lain justru mengalami kekeringan ekstrem. Di Indonesia, perubahan pola curah hujan telah menyebabkan pergeseran musim, di mana musim hujan cenderung lebih singkat namun intensitas hujannya lebih tinggi, serta terdapat kecenderungan musim hujan yang datang terlambat dan berakhir lebih cepat [8].

Perubahan iklim telah menjadi isu global yang mendesak, dengan implikasi yang luas terhadap sistem hidrologi, lingkungan, dan pembangunan berkelanjutan. Salah satu dampak paling signifikan dari perubahan iklim adalah pergeseran pola curah hujan, yang memengaruhi ketersediaan air, ketahanan pangan, dan frekuensi bencana hidrometeorologi seperti banjir dan kekeringan [9] [10]. Perubahan suhu global akibat peningkatan gas rumah kaca di atmosfer telah memodifikasi sistem sirkulasi atmosfer dan meningkatkan kandungan uap air, yang pada gilirannya memicu ketidakaturan distribusi curah hujan baik secara spasial maupun temporal [11]. Variasi ini dapat berujung pada ketimpangan ketersediaan air dan lonjakan kejadian cuaca ekstrem, dengan konsekuensi signifikan bagi kehidupan sosial ekonomi masyarakat.

Di Indonesia, perubahan pola curah hujan telah diamati di berbagai wilayah dalam beberapa dekade terakhir. Indonesia, sebagai negara kepulauan yang terletak di daerah tropis, sangat bergantung pada kestabilan sistem iklim musiman. Namun, fenomena iklim global seperti El Niño dan La Niña telah memperkuat ketidakaturan curah hujan di wilayah ini, menyebabkan kekeringan panjang atau hujan ekstrem secara bergantian [12] [13]. Dengan semakin meningkatnya suhu bumi, proses evaporasi berlangsung lebih cepat. Kondisi ini meningkatkan kandungan uap air di atmosfer, yang berpotensi memicu badai, namun sekaligus berkontribusi terhadap kekeringan di wilayah lain. Akibatnya, wilayah yang terdampak badai cenderung mengalami peningkatan curah hujan dan risiko banjir. Sebaliknya, daerah yang jauh dari pusat badai cenderung mengalami penurunan curah hujan dan peningkatan risiko kekeringan [14] [15]

Penelitian mengenai perubahan curah hujan dan dampaknya terhadap sistem hidrologi di Indonesia menunjukkan pendekatan yang sangat beragam, baik dari sisi lokasi, rentang waktu, maupun metodologi yang digunakan. Hujan ekstrem menyebabkan terjadinya banjir dibandingkan aliran dasar sehingga perlu adanya pemisahan komponen aliran untuk menganalisis dampak hidrometeorologis. Kondisi ekstrem dinyatakan akibat adanya peningkatan yang signifikan dalam klimatologi, hal ini dilihat berdasarkan kondisi tren baik suhu maupun curah hujan [16]. Dalam menentukan tren terdapat beberapa metode statistik meliputi Mann-Kendall, Sen's Slope, indeks ETCCDI, RclimDex, dan masih banyak lagi [17] [18] [19] [20]. Hujan ekstrem dapat dianalisis dengan memperhatikan data historis jangka panjang, hal ini terlihat adanya kecenderungan penurunan curah hujan disebagian wilayah dengan variasi signifikan pada musim hujan (DJF dan MAM) [21] [22].

Isu perubahan pola curah hujan juga sangat relevan dengan pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs). Perubahan curah hujan secara langsung memengaruhi SDG 6 (Air Bersih dan Sanitasi Layak), SDG 11 (Kota dan Permukiman yang Berkelanjutan), SDG 13 (Penanganan Perubahan Iklim), serta SDG 2 (Tanpa Kelaparan). Ketidakpastian iklim menyebabkan gangguan terhadap pasokan air bersih, memperburuk kondisi sanitasi, mengganggu sistem pertanian, dan meningkatkan risiko bencana di wilayah perkotaan seperti Semarang [23]. Dalam konteks kebijakan nasional, isu ini juga menjadi bagian dari Rencana Induk Riset Nasional (RIRN) 2017–2045, yang menetapkan ketahanan air, energi, dan lingkungan sebagai salah satu prioritas riset strategis [24]. Oleh karena itu, penelitian tentang tren curah hujan menggunakan pendekatan ilmiah yang mapan seperti Mann-Kendall dapat berkontribusi dalam mendukung perumusan kebijakan pembangunan berbasis data.

2. Metodologi

Lokasi Studi

Lokasi penelitian ini berada pada Daerah aliran Sungai (DAS) Juana yang terletak pada 2 Kabupaten yaitu Kabupaten Kudus dan Kabupaten Pati, Provinsi Jawa Tengah, dimana DAS Juana mempunyai luas areal 1282.14 km² dengan panjang sungai 63 km yang memiliki pembagian wilayah meliputi Kabupaten Pati mendominasi DAS Juana dengan 91.71%, sedangkan Kabupaten Kudus memiliki 8.29% luas area pada DAS Juana.



Gambar 1. Lokasi penelitian

Pengumpulan dan Pengolahan Data

a. Proses Akuisisi Data Curah Hujan:

Data curah hujan harian untuk periode 1990–2023 diperoleh dari dua sumber utama:

- Estimasi berbasis satelit dari Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station (CHIRPS). Adapun jumlah titik pengambilan data pada penelitian ini berjumlah 1 data set.
- Data observasi lapangan dari BMKG dan BBWS Pemali Juana. Data CHIRPS diunduh dalam format raster dan diproses menggunakan perangkat lunak GIS (ArcGIS/QGIS) untuk ekstraksi nilai curah hujan pada titik representatif dalam wilayah studi.

b. Proses Koreksi dan Validasi Data

Mengingat ketergantungan global terhadap data satelit dalam pengamatan iklim jangka panjang, data CHIRPS divalidasi menggunakan data observasi lokal melalui penghitungan nilai R^2 dan Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE). Koreksi bias dilakukan dengan pendekatan trial-and-error hingga diperoleh peningkatan akurasi.

c. Analisis Tren

Untuk mendeteksi perubahan jangka panjang yang disebabkan oleh dinamika iklim global seperti pemanasan global dan variabilitas ENSO, digunakan metode Mann-Kendall. Kedua metode ini cocok untuk menganalisis tren dalam data deret waktu iklim tanpa mengasumsikan distribusi statistik tertentu.

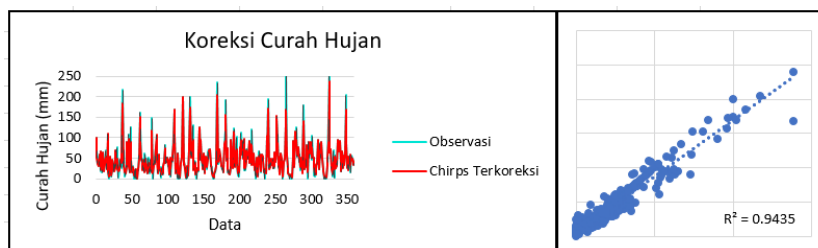
d. Klasifikasi Pola Curah Hujan

Data curah hujan diklasifikasikan ke dalam pola basah, kering, dan normal berdasarkan rata-rata klimatologis setiap 15 tahun. Klasifikasi ini penting untuk memahami dampak jangka panjang perubahan iklim global terhadap pola musiman dan anomali lokal.

3. Pembahasan

Proses akuisisi data curah hujan dalam penelitian ini telah dilakukan melalui pengumpulan data observasional dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) Indonesia. Data yang digunakan merupakan data curah hujan harian beresolusi temporal tinggi yang mencakup selama 34 tahun, yaitu dari 1990 hingga 2023. Stasiun pengamatan utama yang dijadikan sumber data terletak pada koordinat geografis 07°09'16" LS dan 110°33'40.26" BT, dan berada di dalam wilayah tangkapan air (DAS) Juana yang dikompilasi dalam format digital. Setiap nilai curah hujan harian dicatat dalam satuan milimeter (mm) sebagai representasi presipitasi yang jatuh pada permukaan horizontal tanpa mempertimbangkan evaporasi, perkolasi, atau limpasan. Data curah hujan tersebut kemudian dilakukan uji statistik untuk mengetahui keakuratan data agar data dapat digunakan pada tahap berikutnya.

Pada penelitian ini dilakukan uji statistik dengan trial and error sebanyak 5 kali sehingga mendapatkan keakuratan data R^2 mendekati 1. Hasil uji statistik data curah hujan dapat dilihat pada gambar 2 dibawah ini yang memperlihatkan secara visual bahwa data CHIRPS setelah analisis menunjukkan kemampuan yang baik dalam mengikuti pola dan mendekati nilai data observasi pada kedua stasiun hujan sehingga memiliki potensi besar untuk digunakan dalam klasifikasi

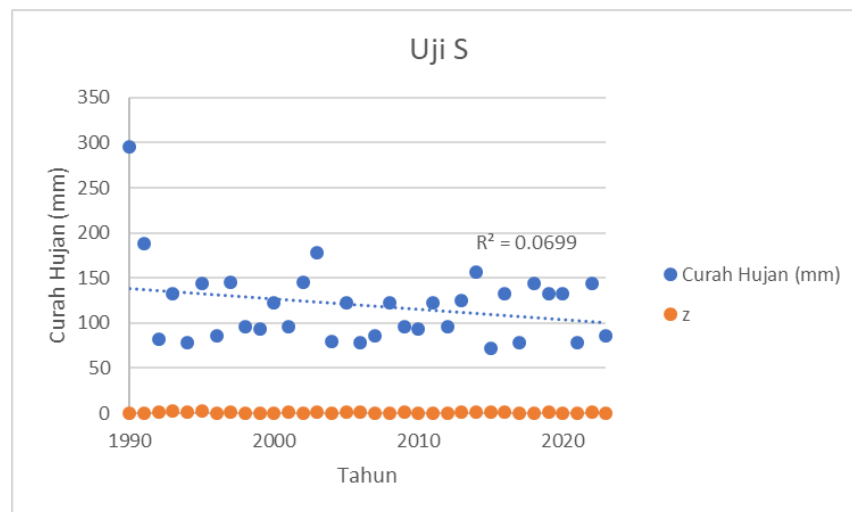


Gambar 2. Uji statistic sebaran curah hujan

Tabel 1. Koreksi curah hujan

	RMSE	R ²	PBIAS	NSE
Model	0,0004	0,9435	3,7923	0,9065

Analisis tren perubahan iklim dilakukan dengan menggunakan pengumpulan data curah hujan maksimum untuk mengetahui klasifikasi yang mencakup aplikasi dalam analisis tren, yang diuji dan data yang digunakan. Analisis tren perubahan iklim dilaksanakan melalui klasifikasi curah hujan maksimum ke dalam kategori pola hujan kering, basah, dan normal. Pengelompokan tersebut dilakukan berdasarkan asumsi mengenai karakteristik fluktuasi iklim dan mengidentifikasi perubahan signifikan dalam pola curah hujan. Persentase tren perubahan iklim dilakukan dengan merata-rata curah hujan baseline setiap lima belas tahun. Pendekatan ini memberikan gambaran jangka panjang terhadap perubahan iklim, untuk melihat prediksi kenaikan dan penurunan curah hujan di masa mendatang.



Gambar 3. Nilai S

Pada gambar 3. Menunjukkan hubungan antara nilai S dengan tahun dan curah hujan selama periode 34 tahun, yang membuat regresi linear menurun dan membuat koefisien determinasi nya sangat rendah. Tren penurunan yang ditampilkan oleh garis regresi terlihat hampir tidak signifikan secara statistik. Hal ini mengindikasikan bahwa perubahan Nilai S dari waktu ke waktu tidak menunjukkan pola yang jelas atau kuat yang dapat dikaitkan secara konsisten dengan tahun ataupun faktor seperti curah hujan. Berdasarkan grafik tersebut maka selama 34 tahun dikategorikan musim hujan ketika besaran curah hujan melebihi 115mm dan musim kering sebesar <85mm.

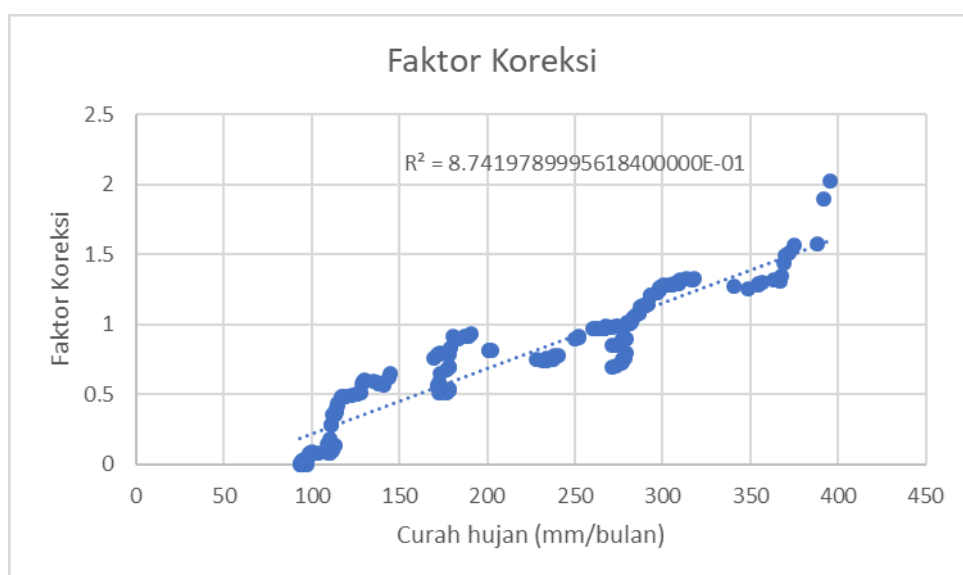
Kemudian dilakukan Uji nilai Z, proses analisis menggunakan Uji Mann-Kendall pada DAS Juana ditampilkan dalam Tabel 2. Berdasarkan hasil uji statistik S, metode Mann-Kendall menunjukkan adanya tren peningkatan atau penurunan intensitas curah hujan yang signifikan atau tidak pada data dari Stasiun BMKG. Hal ini ditunjukkan melalui nilai |Z|, di mana statistik uji |Z| diplot terhadap waktu (dalam bulan). Nilai |Z| merepresentasikan kekuatan tren, dengan setiap nilai yang melebihi tingkat signifikansi ($\alpha = 0.1$), yang dibagi menjadi dua sisi ($\alpha/2 = 0.05$), dibandingkan dengan nilai kritis 1.645 yang diperoleh dari tabel distribusi normal standar (Z-table).

Tabel 2 menunjukkan bahwa sebagian besar data tidak memiliki tren signifikan karena nilai $|Z|$ lebih kecil dari nilai kritis, sehingga tren curah hujan pada periode tersebut dianggap lemah. Namun, beberapa tahun seperti 1998 (El Niño kuat) dan 1995 (La Niña moderat) menunjukkan peningkatan intensitas curah hujan. Sebaliknya, tahun 2013 dan 2017 tidak secara langsung terkait dengan ENSO akibat berbagai anomali yang memengaruhi pola curah hujan. Untuk menganalisis anomali akibat perubahan iklim, dilakukan uji data guna mengklasifikasikan curah hujan berdasarkan jumlah data, mencakup periode bulanan dalam rentang 15, 20 dan 30 tahun.

Tabel 2. Rekapitulasi Nilai Z (signifikasi)

No	Tahun	Nilai Kritis	Nilai Z	Nilai $ Z $	Hasil
1.	1993	1,645	-2,126	2,126	Signifikan
2.	1995	1,645	1,725	1,725	Signifikan
3.	1998	1,645	2,137	2,137	Signifikan
4.	2006	1,645	-1,787	1,787	Signifikan
5.	2007	1,645	2,109	2,109	Signifikan
6.	2013	1,645	-1,714	1,714	Signifikan
7.	2017	1,645	-1,819	1,819	Signifikan
8.	2021	1,645	2,199	2,199	Signifikan
9.	2023	1,645	2,315	2,315	Signifikan

Berdasarkan nilai Z dalam menunjukkan analisis tren menggunakan metode Mann-Kendall, di mana nilai absolut $|Z|$ diplot terhadap waktu (dalam tahun). Hasil analisis menunjukkan adanya tren meningkat yang tidak signifikan. Hal ini terjadi karena banyaknya data yang digunakan masih minim (satu stasiun). Tingkat keakuratan signifikasi sebesar 13% data mengalami perubahan, terutama karena pada rentang waktu 15, dan 20 tahun fenomena ENSO sudah teridentifikasi akan tetapi tingkat keakuratan belum mencapai maksimal (keakuratan data dapat dilihat pada table 3), sehingga dengan menggunakan 1 stasiun dengan kurun waktu 34 tahun maka baru dapat dilihat tren yang sangat signifikan pada ketersediaan data 25 tahun dengan tingkat keakuratan 60.8%.



Gambar 4. Faktor Koreksi

Gambar 4. menunjukkan hubungan antara besarnya curah hujan bulanan (dalam mm/bulan) dengan faktor koreksi yang digunakan untuk menyesuaikan hasil model iklim terhadap data observasi. Faktor koreksi dihitung sebagai rasio antara data observasi dengan data model, kemudian dipasangkan terhadap besarnya curah hujan. Kurva pada grafik nilai koefisien determinasi $R^2 = 0.8742$, yang menunjukkan tingkat kesesuaian (fit) yang sangat baik antara fungsi polinomial dengan data koreksi.

Secara umum, terlihat bahwa nilai faktor koreksi meningkat seiring dengan besarnya curah hujan. Artinya, semakin tinggi curah hujan, semakin besar koreksi yang perlu diberikan pada data model agar mendekati data observasi. Koreksi ini penting dilakukan agar data curah hujan dari model iklim yang digunakan dalam analisis hidrologi memberikan hasil yang lebih akurat dan realistis terhadap kondisi sebenarnya di lapangan.

Tabel 3. Akurasi Data

No	Jumlah Data (Tahun)	Akurasi Data (%)
1	5	0.35
2	10	5.78
3	15	34.8
4	20	47.8
5	25	60.8
6	30	73.8

Metode Mann-Kendall adalah teknik statistik yang digunakan untuk menganalisis tren data waktu. Dalam penelitian ini, analisis dilakukan pada data dasar selama 34 tahun. Hasil analisis menunjukkan bahwa metode ini cukup relevan atau signifikan untuk memprediksi fenomena ENSO pada rentang waktu 25 tahun dan 30 tahun jika menggunakan data baseline sebanyak satu stasiun curah hujan. Namun, pada rentang waktu kurang dari 20 tahun, metode ini tidak dapat digunakan karena data yang diperoleh samar atau kurang terlihat jelas. Salah satu penyebabnya adalah adanya peralihan fenomena ENSO.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa fluktuasi curah hujan di DAS Juana memiliki korelasi yang erat dengan fenomena iklim global seperti El Niño dan La Niña. Melalui metode Mann-Kendall, pola curah hujan dapat diklasifikasikan secara ilmiah berdasarkan tren jangka panjang, yang berguna untuk membedakan musim hujan dan kemarau secara lebih presisi. Temuan ini menjadi landasan penting dalam mendukung sistem mitigasi bencana banjir, serta pengelolaan sumber daya air yang adaptif terhadap perubahan iklim.

Keluaran penelitian ini berkontribusi langsung terhadap *Sustainable Development Goals* (SDGs), khususnya SDG 11 (Kota dan Pemukiman yang Tangguh dan Berkelanjutan) dan SDG 13 (Penanganan Perubahan Iklim), dengan memberikan dasar ilmiah dalam tata kelola wilayah berbasis data iklim dan sistem peringatan dini. Dalam kerangka Asta Cita atau Nawacita, penelitian ini mendukung poin ke-6, yakni peningkatan produktivitas dan daya saing rakyat, dengan menjamin ketersediaan air dan perlindungan terhadap risiko banjir yang mengganggu aktivitas pertanian dan ekonomi lokal.

Selanjutnya, penelitian ini sejalan dengan Rencana Induk Riset Nasional (RIRN) 2017–2045, khususnya pada fokus riset Ketahanan Pangan, Energi dan Air, serta Perubahan Iklim dan Bencana. Dengan pendekatan ilmiah yang berbasis data klimatologis jangka panjang,

penelitian ini memperkuat agenda nasional dalam membangun sistem informasi klimatologi yang tangguh, serta mendukung kebijakan pembangunan yang berbasis sains untuk meningkatkan resiliensi wilayah terhadap tekanan lingkungan

4. Kesimpulan

1. Analisis variabilitas curah hujan jangka panjang di DAS Juana selama periode 34 tahun (1990–2023) menunjukkan fluktuasi yang signifikan, konsisten dengan karakteristik DAS tropis yang rentan terhadap ekstrem hidrologi. Berdasarkan uji tren Mann-Kendall dan estimasi kemiringan Sen's Slope, ditemukan periode-periode dengan kecenderungan peningkatan maupun penurunan curah hujan, dengan tren signifikan tercatat pada tahun-tahun seperti 1993, 1995, 1998, 2006, 2007, 2013, 2017, 2021, dan 2023. Tahun-tahun ini berkorelasi dengan kejadian iklim global seperti El Niño dan La Niña, yang menegaskan sensitivitas DAS tropis terhadap anomali iklim global.
2. Nilai koefisien determinasi $R^2 = 0.9828$, yang menunjukkan tingkat kesesuaian (fit) yang sangat baik antara fungsi polinomial dengan data koreksi. Secara umum, terlihat bahwa nilai faktor koreksi meningkat seiring dengan besarnya curah hujan. Artinya, semakin tinggi curah hujan, semakin besar koreksi yang perlu diberikan pada data model agar mendekati data observasi
3. Metode Mann Kendal dapat digunakan sebagai pertimbangan dalam menganalisis perubahan iklim, dengan kondisi jumlah data yang dianalisis minimal 20 tahun dengan tingkat keakuratan sebesar 70%. Apabila ketersediaan data 10- 20 tahun, maka tingkat keakuratan sebesar 54%. Sehingga untuk mendapatkan keakuratan data sebesar 100% dibutuhkan data minimal 30 tahun

Daftar Pustaka

- [1] Ariffin. (2019). Metode Klasifikasi Iklim di Indonesia. UB Press.
- [2] Kementerian PPN/Bappenas. Rencana Aksi Nasional Adaptasi Perubahan Iklim Kajian Basis Ilmiah Proyeksi Iklim Atmosferik
- [3] K. E. Trenberth, "Conceptual framework for changes of extremes of the hydrological cycle with climate change," *Clim. Change*, 1999, doi: 10.1023/A:1005488920935.
- [4] P. Pathak, A. Kalra, S. Ahmad, dan M. Bernardez, "Wavelet-Aided Analysis to Estimate Seasonal Variability and Dominant Periodicities in Temperature, Precipitation, and Streamflow in the Midwestern United States," *Water Resour. Manag.*, 2016, doi: 10.1007/s11269-016-1445-0.
- [5] P. R. Hosang, J. Tatu, dan J. E. X. Rofi, "ANALISIS DAMPAK PERUBAHAN IKLIM TERHADAP PRODUKSI BERAS PROVINSI SULAWESI UTARA TAHUN 2013 –2030," *EUGENIA*, 2012, doi: 10.35791/eug.18.3.2012.4101.
- [6] H. Tian et al., "Model estimates of net primary productivity, evapotranspiration, and water use efficiency in the terrestrial ecosystems of the southern United States during 1895-2007," *For. Ecol. Manage.*, 2010, doi: 10.1016/j.foreco.2009.10.009.
- [7] K. Hayhoe et al., "Past and future changes in climate and hydrological indicators in the US Northeast," *Clim. Dyn.*, 2007, doi: 10.1007/s00382-006-0187-8.
- [8] Diposaptono, B. Erosi Pantai (Coastal Erosion), Prosiding Pelatihan Pengelolaan Wilayah Pesisir Terpadu, (online) <http://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/24571>, 2009.
- [9] IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>

- [10] Trenberth, K. E., Fasullo, J. T., & Shepherd, T. G. (2015). Attribution of climate extreme events. *Nature Climate Change*, 5(8), 725–730. <https://doi.org/10.1038/nclimate2657>
- [11] Kurniyaningrum, E., Kurniawan, M.A. Climate Change Effect on Water Balance for Water Critically in Upper Bogowonto Watershed, Indonesia. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 2022, pp. 1-10. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1195/1/012053>
- [12] Hidayat, R., & Juniarti, M. D. (2018). Impact of La Niña and La Niña Modoki on Indonesia rainfall variability. *IOPscience*. DOI: 10.1088/1755-1315/149/1/012046
- [13] Iskandar, I., Lestrai, D. O., & Nur, M. (2019). Impact of El Niño and El Niño Modoki Events on Indonesian Rainfall. *ScholarHub UI*. DOI: 10.7454/mss.v23i4.11517
- [14] EPA. 2009. Frequently Asked Questions About Global Warming and Climate Change: Back to Basics. Environmental Protection Agency.
- [15] Indarto, Susanto, B., dan Diniardi, E.M. (2011). Analisis Kecenderungan Data Hujan di Jawa Timur Menggunakan Metode Mann-Kendal & Rank-Sum Test. *Jurnal Keteknikan Pertanian*
- [16] Kurniyaningrum, E., Wahab, N.H.L., Rinanti, A., Herlina, L., and Sattar, H. (2025). The Impacts of Climate Change on the Hydrological Cycle at Semarang. *Sustainability, Technology, Innovation, Economy and Governance: Multidisciplinary Perspectives on Contemporary Challenges*. Pp. 22-29. ChapterBook: NCM Publishing House
- [17] Utami, A. K., Ariska, M., Akhsan, H., & Andriani, N. (2024). Dinamika Temperature Ekstrem di Kepulauan Bangka Belitung Periode 1981-2022. 8(1), 19–28.
- [18] Agustina, A., Ariska, M., & Akhsan, H. (2024). Dinamika temperatur ekstrem di nusa tenggara. 9(3), 104–109.
- [19] Hidayat, N. M., Pandiangan, A. E., & Pratiwi, A. (2019). Identifikasi Perubahan Curah Hujan Dan Suhu Udara Menggunakan Rclimdex Di Wilayah Serang. *Jurnal Meteorologi Klimatologi Dan Geofisika*, 5(2), 37–44. <https://doi.org/10.36754/jmkg.v5i2.57>
- [20] Barung, F. M., Pattipeilohy, W. J., & Muharsyah, R. (2021). Penilaian Perubahan Iklim Berdasarkan Kecenderungan Dan Perubahan Suhu Tahunan Di Manokwari, Papua Barat. *Jurnal Analisis Kebijakan Kehutanan*, 18(1), 45–57
- [21] Adidarma, W. K., Madya, P., Hidrologi, B., Daya, S., & Pendahuluan, A. (2009). Identifikasi Dampak Perubahan Iklim Terhadap Seri Data Hujan Di Pulau Jawa. *Jsda*, 5(1), 1–14.
- [22] Adiyani, L. (2019). Nilai Faktor Pertumbuhan untuk Estimasi Hujan Rencana di Pulau Jawa. *Jurnal Sumber Daya Air*, 15(1), 56–68. <https://doi.org/10.32679/jsda.v15i1.496>
- [23] BAPPENAS. (2020). Indonesia's Voluntary National Review on the Implementation of the 2030 Agenda for Sustainable Development. Jakarta: Kementerian PPN/BAPPENAS
- [24] Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN). (2022). Rencana Induk Riset Nasional (RIRN) 2017–2045. Jakarta: BRIN.