

ANALISIS TREND HISTORIS DAN PROYEKSI CURAH HUJAN 2080 DI DAS JUWANA: PENDEKATAN *DOWNSCALING* STATISTIK

Chindy Victorya Latuparissa¹

Endah Kurniyaningrum^{1*}

Dina P. A. Hidayat¹

Teddy Sudinda^{1,2}

Muhammad Luthfi Assidik³

¹Program Studi Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Trisakti
Jalan Kyai Tapa No. 1 Grogol, Jakarta Barat, DKI Jakarta 11440, INDONESIA

²Badan Riset dan Inovasi Nasional – Pusat Riset Lingkungan dan Teknologi Bersih, 10340, INDONESIA

³Magister of Water Resources Engineering, Faculty of Bioscience Engineering, KU Leuven University
Leuven, 1425, BELGIUM

Abstract

In recent decades, the Juwana Watershed (DAS Juwana) in Central Java has increasingly experienced frequent and severe flooding, causing significant economic losses and public health concerns. Land-use changes and the impacts of global climate change are believed to be the main drivers altering rainfall patterns in the region. This study aims to understand the historical rainfall dynamics in the Juwana Watershed over the past 22 years (1998–2019), and to project future conditions up to the year 2080 under two climate scenarios: RCP 4.5 and RCP 8.5. We employed a statistical downscaling method using satellite-based rainfall data from TRMM, combined with outputs from the CMIP5 global climate models. The findings reveal that the Juwana Watershed follows a typical tropical rainfall regime, with peak precipitation occurring between December and February. Certain years, such as 2006, 2008, and 2010, recorded extreme rainfall events that coincided with La Niña phenomena. Future projections indicate an increasing trend in rainfall intensity, particularly during the wet season. Under the RCP 8.5 scenario, rainfall spikes are projected to be more pronounced than in RCP 4.5, especially in January and December. These results serve as a critical warning of heightened flood risks in the future and highlight the urgent need for adaptive strategies and climate-responsive water management planning in the Juwana Watershed.

Keywords:

Climate change; representative concentration pathway; downscaling.

Abstrak

Dalam beberapa dekade terakhir, wilayah Daerah Aliran Sungai (DAS) Juwana di Jawa Tengah semakin sering dilanda banjir sehingga berdampak serius, mulai dari kerugian ekonomi hingga gangguan kesehatan pada masyarakat. Perubahan penggunaan lahan dan pengaruh perubahan iklim global diyakini menjadi pemicu utama perubahan pola curah hujan di wilayah ini. Penelitian ini dilakukan untuk memahami bagaimana dinamika curah hujan berkembang di DAS Juwana selama 22 tahun terakhir (1998–2019), serta bagaimana kondisi ini mungkin berubah hingga tahun 2080 berdasarkan dua skenario iklim yaitu pada kondisi RCP 4.5 dan RCP 8.5. Kami menggunakan metode downscaling statistik dengan data curah hujan satelit TRMM yang dikombinasikan dengan model iklim global CMIP5. Hasilnya menunjukkan bahwa DAS Juwana memiliki pola hujan tropis, dengan puncak curah hujan terjadi pada Desember hingga Februari. Beberapa tahun seperti 2006, 2008, dan 2010 mencatat hujan ekstrem yang bertepatan dengan fenomena La Niña. Proyeksi ke depan menunjukkan adanya tren peningkatan intensitas curah hujan, khususnya pada musim hujan. Di bawah skenario RCP 8.5, lonjakan curah hujan lebih tajam dibandingkan RCP 4.5, terutama pada Januari dan Desember. Temuan ini menjadi peringatan penting akan meningkatnya risiko banjir ekstrem di masa depan dan menegaskan perlunya strategi adaptasi serta perencanaan pengelolaan air yang lebih tanggap terhadap perubahan iklim masa depan.

Kata Kunci:

Perubahan iklim; representative concentration pathway; downscaling

Citation in APA Style: Latuparissa, C. V., Kurniyaningrum, E., Hidayat, D. P. A., Sudinda, T., Assidik, M. L. (2025). Analisis tren historis dan proyeksi curah hujan 2080 di DAS Juwana: Pendekatan downscaling statistik. *VOCATECH: Vocational Education and Technology Journal*, 7(2), 297-307.

***Corresponding author:**

Endah Kurniyaningrum, Program Studi Magister Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Trisakti, Jalan Kyai Tapa No. 1 Grogol, Jakarta Barat, DKI Jakarta 11440, INDONESIA.

Email: kurniyaningrum@trisakti.ac.id

1. PENDAHULUAN

Perubahan iklim merupakan dampak dari konversi penggunaan lahan yang dapat mengubah karakteristik termal permukaan dan pola hidrometeorologi di tingkat lokal dan regional. Di wilayah tropis seperti Indonesia, curah hujan ekstrem yang datang tiba-tiba bisa menyebabkan banjir, merusak infrastruktur, dan mengganggu aktivitas masyarakat. Keterkaitan perubahan tutupan lahan dengan pergeseran pola run-off dan respon hidrologis DAS yang dapat memperburuk fluktuasi debit dan kejadian ekstrem hujan (Chen, S., et al., 2022; Komara, K., et al., 2025; Hussain, S., et al., 2023).

Perubahan tutupan lahan, seperti deforestasi dan urbanisasi, dapat memperburuk ketidakseimbangan hidrologi, menyebabkan peningkatan limpasan permukaan dan berkurangnya infiltrasi air tanah, yang berujung pada kehilangan air (Alfiana, F. et al. 2023). Sementara itu, pembangunan infrastruktur air, seperti waduk dan bendungan, memainkan peran krusial dalam menstabilkan pasokan air selama musim kemarau (Candra, O. Et al., 2022; Rahayu et al., 2023). Perubahan iklim global berdampak pada pola hidrologi, terutama di wilayah tropis seperti Indonesia (Shrestha, S. et al. 2021) Meningkatnya suhu global telah mengubah pola curah hujan, dengan beberapa wilayah mengalami intensitas curah hujan yang lebih tinggi sementara wilayah lainnya mengalami penurunan curah hujan, sehingga meningkatkan risiko banjir dan kekeringan pada musim-musim tertentu (Marahatta, S. et al. 2021).

Dampak perubahan iklim di Indonesia ditandai dengan perubahan curah hujan, baik dari segi kuantitas maupun pergeseran musim hujan (Dipayana et al., 2012). Daerah Jawa Tengah memiliki tipe iklim yang cenderung panas dan lembap, karena sebagian besar curah hujan terjadi di daerah dataran rendah dan pegunungan yang suhunya lebih dingin. Kondisi perubahan iklim membuat curah hujan tahunan menurun sebesar 2-3% sejak tahun 1990 (Kurniyaningrum, et al. 2022). DAS Juwana mengalami peningkatan terhadap koefisien limpasan dalam kurun waktu 5 tahun terakhir yaitu 2013 sampai 2018 sehingga sering terjadi banjir saat terjadi hujan dengan intensitas tinggi (Komara, K., et al. 2025). Dalam pengelolaan sumber daya air berbasis ekosistem maka perlu diketahui prediksi pola curah hujan kedepan.

Meningkatnya perubahan tata guna lahan dan pembangunan yang pesat menambah tekanan pada saluran drainase yang ada, sehingga menyebabkan terjadinya limpasan air yang berlebihan dan memperburuk risiko banjir di beberapa kawasan kota (Firmansyah, et al ., 2024; Amin, R., et al. 2025; Sidik et al., 2022). Beberapa penelitian yang relevan dalam perencanaan pengelolaan daerah aliran sungai diantaranya (1) mitigasi termal melalui pelestarian/penambahan tutupan vegetasi dan lahan basah yang meningkatkan evapotranspirasi, menurunkan LST, dan menstabilkan siklus hidrologi (Kurniyaningrum, E., et al. 2022); dan (2) pengelolaan ruang yang mengurangi *impervious surface area* (ISA) serta mengembalikan fungsi hidrologis daerah resapan (Abadan, A., et al 2024).

Pada penelitian terdahulu dengan studi kasus pengelolaan DAS lebih mengangkat kondisi suhu permukaan tanah, tutupan lahan dan curah hujan secara terpisah. Pada penelitian ini dilakukan prediksi curah hujan dengan menggunakan skenario perubahan iklim dalam mendukung rehabilitasi lahan kritis sebagai mitigasi dan adaptasi perubahan iklim di wilayah tropis.

2. STUDI PUSTAKA

2.1 Perubahan Iklim

Perubahan iklim bukan sekadar istilah ilmiah, tapi kenyataan yang makin dirasakan sehari-hari. Secara sederhana, perubahan iklim suatu pergeseran jangka panjang dalam pola cuaca, seperti suhu dan curah hujan. Hal ini terjadi karena interaksi yang rumit antara udara, laut, daratan, es, dan kehidupan di Bumi. Untuk memahami iklim suatu wilayah, para ahli biasanya melihat rata-rata kondisi cuaca selama 30 tahun. Melalui cara inilah kita bisa melihat pola dan perubahan yang perlahan tapi pasti memengaruhi lingkungan kita (Zhang et al., 2017). Perubahan iklim merupakan fenomena yang nyata dan dapat dikenali melalui berbagai indikator utama. Salah satunya adalah peningkatan konsentrasi karbon dioksida (CO₂) di atmosfer yang

sebagian besar berasal dari aktivitas manusia sejak masa Revolusi Industri. Namun, hanya sekitar 55% dari total emisi CO₂ yang tercatat berada di atmosfer, sementara sisanya terserap oleh ekosistem laut dan darat (Zhang et al., 2007). Selain itu, suhu permukaan bumi dan lautan juga mengalami perubahan signifikan. Distribusi suhu sangat dipengaruhi oleh penyinaran matahari, kemiringan sinar, keberadaan awan, serta sifat fisik daratan dan lautan. Faktor-faktor tersebut menentukan seberapa besar energi panas yang diserap dan dipantulkan oleh suatu wilayah, yang pada akhirnya memengaruhi suhu udara di sekitarnya (Basyaruddin & Effendy, 2007).

2.2 Skenario Perubahan Iklim

Gambaran kondisi iklim di masa mendatang dapat dilakukan dengan skenario. Skenario bukanlah metode untuk memprediksi masa mendatang tetapi untuk memahami ketidakpastian dan gambaran alternatif tentang iklim masa mendatang (IPCC, 2007). IPCC telah menyusun beberapa skenario iklim untuk mengetahui proyeksi iklim global dan regional hingga tahun 2100 melalui skenario *Representative Concentration Pathway* (RCP) (Phan et al., 2020). RCP ini merupakan salah satu GCM. RCP didasarkan pada *Radiative Forcing* (RF) yang ditimbulkan oleh konsentrasi gas rumah kaca. Peningkatan nilai RF dapat menyebabkan terjadinya peningkatan suhu rata-rata global. Terdapat empat skenario RCP, yaitu RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0, dan RCP 8.5 sebagaimana disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Skenario RCP

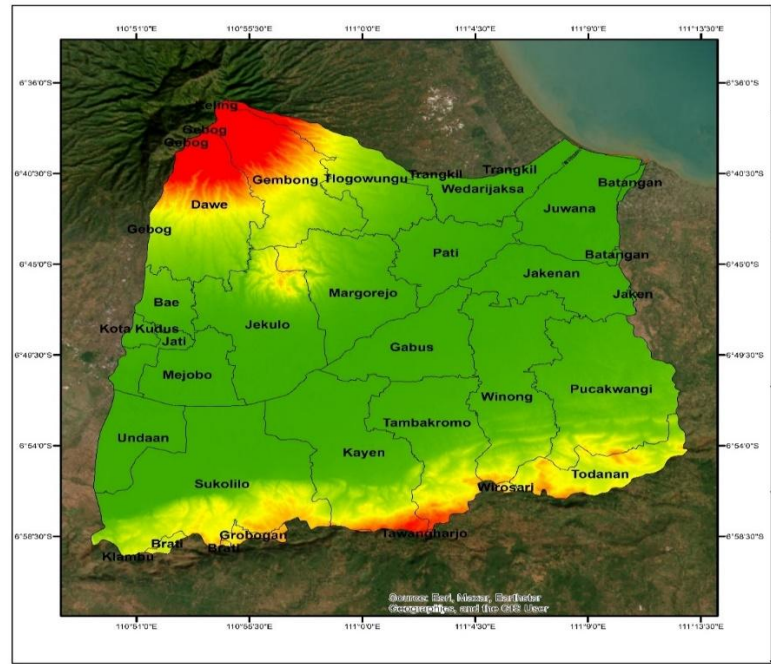
Skenario	<i>Radiative Forcing</i>	Konsentrasi (ppm)	<i>Pathway</i>	Penyedia
RCP 8.5	>8.5 W/m ² pada 2100	Setara dengan CO ₂ > 1370 pada 2100	Meningkat	MESSAGE
RCP 6.0	-6.0 W/m ² stabil setelah 2100	Setara dengan CO ₂ -850 stabil setelah 2100	Stabil tanpa melampaui	AIM
RCP 4.5	-4.5 W/m ² stabil setelah 2100	Setara dengan CO ₂ - 650 stabil setelah 2100	Stabil tanpa melampaui	GCAM
RCP 2.6	Mencapai -3.5 W/m ² sebelum 2100 dan kemudian turun	Mencapai - 490 setara dengan CO ₂ sebelum 2100 dan kemudian turun	Mencapai nilai tertinggi kemudian menurun	IMAGE

Skenario pada Tabel 2-2 dibangun dari besaran emisi yang masih dapat dihasilkan agar kenaikan temperatur rata-rata bumi tidak melebihi 2°C. Data skenario RCP yang digunakan pada penelitian ini adalah RCP 4.5 dan 8.5. RCP 4.5 dan 8.5 adalah kondisi dimana manusia melakukan pencegahan terhadap perubahan iklim secara berkelanjutan. RCP 4.5 dan 8.5 menggunakan model CMIP, dimana CMIP adalah salah satu model iklim untuk prediksi perubahan iklim. RCP 4.5 dan 8.5 adalah skenario stabilitas dimana total radiative forcing distabilkan dengan cepat setelah tahun 2100 tanpa melampaui tingkatan target radiative forcing jangka panjang (Wiratri et al., 2022).

3. METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

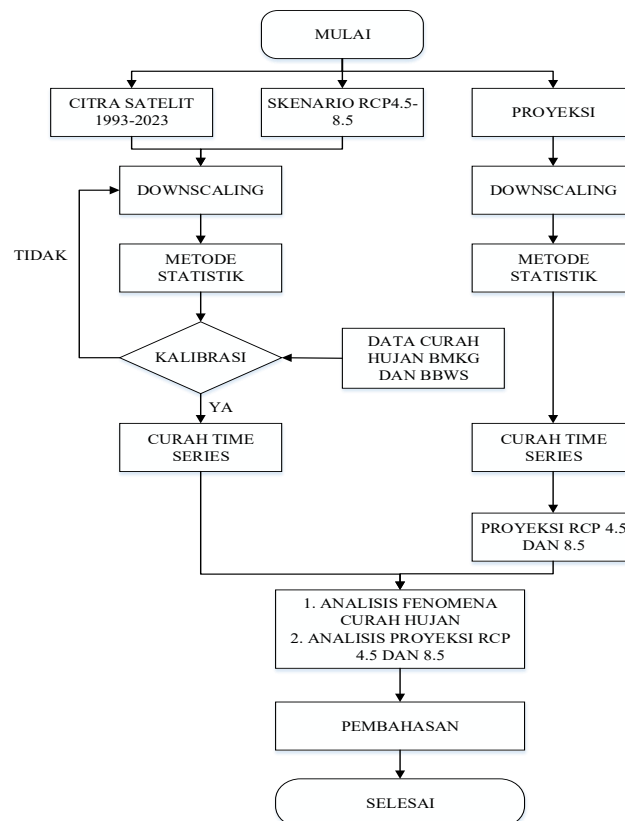
Juwana merupakan salah satu dari 4 Sungai utama yang membentuk satu sistem sungai yang disebut Seluna (Serang – Wulan – Lusi – Juwana). Sungai Juwana melintasi 2 Kabupaten yaitu Kabupaten Kudus dan Kabupaten Pati di Provinsi Jawa Tengah dengan panjang sungai 63 Kilometer. Anak-anak sungai Juwana berhulu dari Pegunungan Muria di Utara dan Pegunungan Kendeng di bagian Selatan. Curah hujan rerata berkisar antara 750 mm – 1750 mm (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2016). Kondisi Topografi daerah aliran sungai Juwana memiliki elevasi 90 mdpl yang termasuk daerah dataran rendah dan memiliki kemiringan (slope) yang cenderung datar sehingga kecepatan aliran relatif kecil. Daerah aliran Sungai (DAS) Juwana yang terletak pada 2 Kabupaten yaitu Kabupaten Kudus dan Kabupaten Pati, Provinsi Jawa Tengah. Daerah Aliran Sungai Juwana mempunyai luas areal 1282.14 Km². Kabupaten Pati mendominasi DAS Juwana dengan 91.71%, sedangkan Kabupaten Kudus memiliki 8.29% luas area pada DAS Juwana. DAS Juwana secara geografis terletak pada 06°36'46" LS dan 06°59'27" LU dan antara 110°46'44" BT dan 111°14'47" BT.



Gambar 1. Lokasi studi

3.2 Tahapan Pelaksanaan Penelitian

Tahapan pelaksanaan penelitian ini dilakukan melalui beberapa langkah yang terintegrasi untuk memodelkan perubahan iklim pada DAS Juwana. Secara garis besar, langkah-langkah tersebut meliputi: pengumpulan data yang diperlukan, penerapan teknik *downscaling* untuk menyesuaikan data iklim global ke skala lokal DAS Juwana, validasi hasil *downscaling* dengan data observasi lapangan, proyeksi curah hujan masa depan berdasarkan model iklim yang telah didownscaling, dan verifikasi kinerja model serta evaluasi keberhasilan metode yang digunakan menggunakan parameter NSE dan RMSE. Berikut penjelasan rinci untuk setiap tahapan tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.

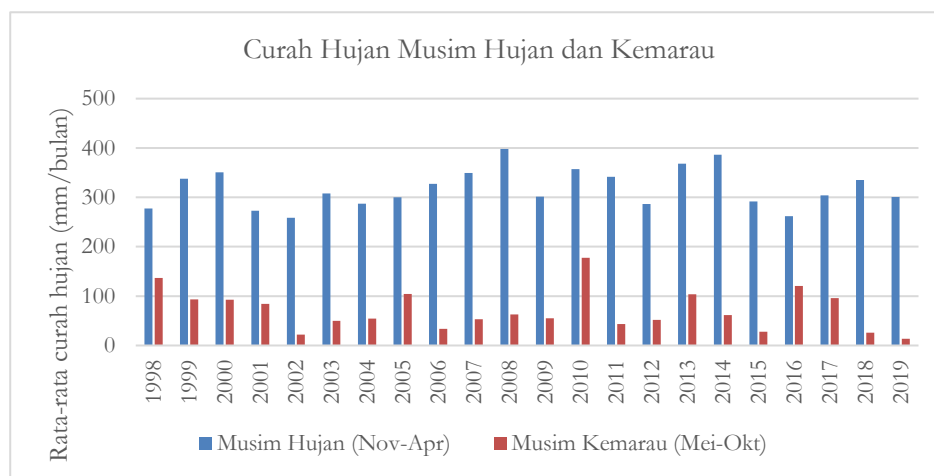


Gambar 2. Flowchart Penelitian

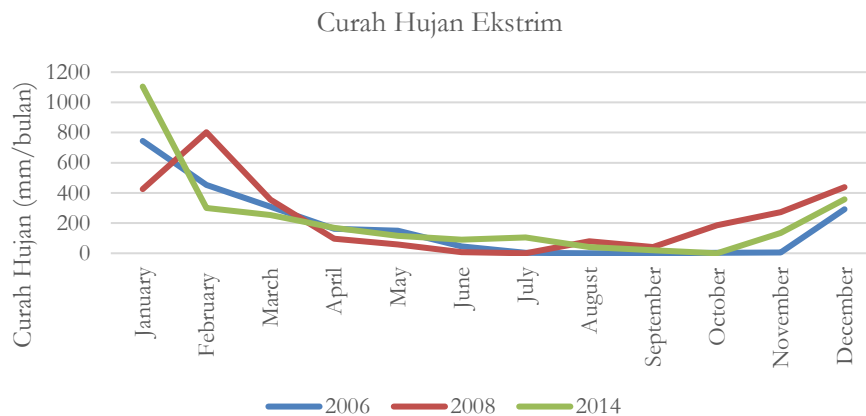
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Data *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM)

Dalam penelitian ini, rentang waktu yang digunakan dalam pengambilan data sebagai data *baseline* adalah Januari 1998 hingga Desember 2019, dipilih untuk memperoleh data historis yang memadai dalam proses analisis pola musiman serta kalibrasi dan validasi model. Berdasarkan analisis musiman terhadap data curah hujan TRMM periode 1998–2019, terlihat pola yang konsisten antara musim hujan dan musim kemarau. Musim hujan (November hingga April) secara umum menunjukkan nilai curah hujan bulanan rata-rata yang jauh lebih tinggi dibandingkan musim kemarau (Mei hingga Oktober). Selisih rata-rata musiman menunjukkan bahwa musim hujan dapat memberikan tambahan curah hujan lebih dari 150 mm/bulan dibandingkan musim kemarau, bahkan mencapai lebih dari 250 mm pada tahun-tahun tertentu seperti 2000.



Gambar 3. Perbandingan Curah Hujan Musiman



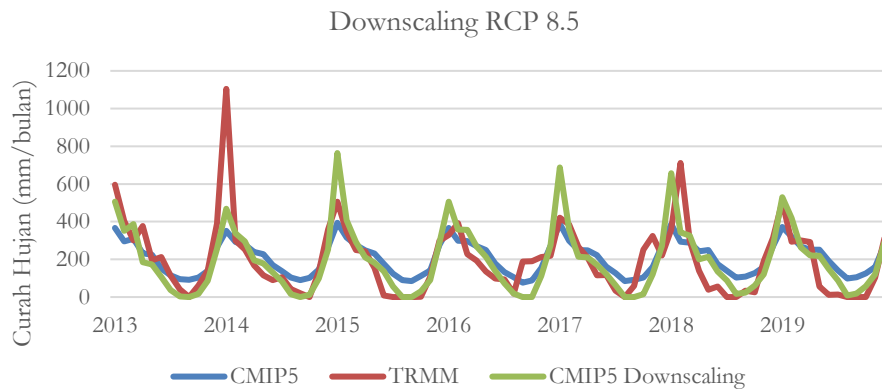
Gambar 4. Curah Hujan Ekstrim DAS Juwana

Curah hujan ekstrem yang terjadi pada bulan Januari di tahun 2006, 2008, dan 2014 menunjukkan dampak nyata terhadap kondisi hidrologi di wilayah DAS Juwana, Jawa Tengah. Berdasarkan data satelit TRMM, Januari 2014 tercatat sebagai bulan dengan curah hujan tertinggi selama periode 1998–2019, mencapai lebih dari 1100 mm. Kondisi ini bertepatan dengan keberadaan fenomena La Niña moderat yang meningkatkan intensitas hujan di wilayah Indonesia. Akibatnya, terjadi banjir besar di wilayah hilir DAS Juwana, khususnya di Kecamatan Juwana, Kabupaten Pati beserta beberapa kabupaten lainnya di lingkungan DAS Juwana. Curah hujan tinggi juga pada data TRMM terlihat pada Februari 2008 yang mencapai 800 mm/bulan dan pada waktu tersebut menyebabkan banjir besar pada Kabupaten Pati dan sekitarnya. Pada Januari 2006 juga merupakan periode hujan tinggi yang berakibat kematian di Kecamatan Juwana. Ketiga

VOCATECH: Vocational Education and Technology Journal 5, 2 (2024): hal. 297-307

kejadian ini menegaskan bahwa curah hujan ekstrem di bulan Januari dan Februari, terutama saat didorong oleh fenomena La Niña, memiliki korelasi kuat dengan kejadian banjir besar di DAS Juwana.

4.2. Downscaling CMIP5 RCP 8.5 dan Proyeksi



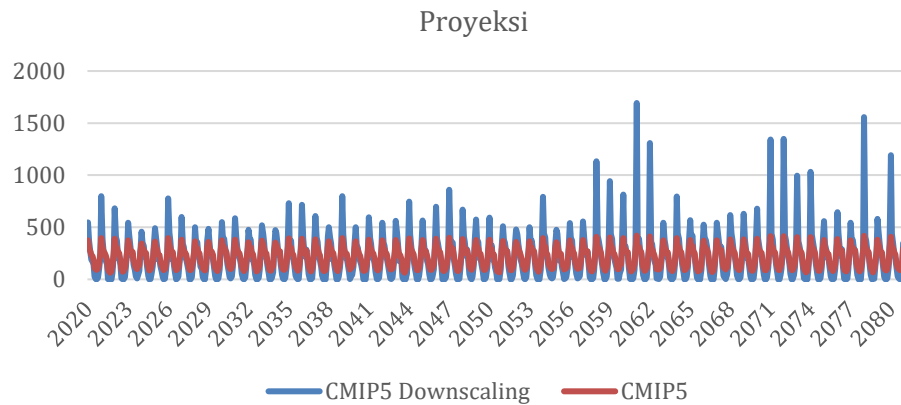
Gambar 5. Hasil Validasi *Downscaling* RCP 8.5

Gambar 5 menunjukkan proses validasi model CMIP5 skenario RCP 8.5 dengan membandingkan antara data observasi TRMM (garis oranye), data asli model CMIP5 (garis biru), dan hasil downscaling atau koreksi bias (garis abu-abu) selama periode tahun 2013 hingga 2019. Dari grafik terlihat bahwa model CMIP5 tanpa koreksi (biru) secara konsisten underestimate nilai curah hujan bulanan dibandingkan data TRMM, terutama pada periode curah hujan puncak. Hal ini mengindikasikan adanya bias negatif yang umum terjadi pada model global skala kasar. Namun, setelah dilakukan proses downscaling atau koreksi bias, CMIP5 Downscaling (garis abu-abu) menunjukkan performa yang jauh lebih baik, dengan pola curah hujan yang lebih mendekati data TRMM baik dari segi tren musiman maupun intensitas curah hujan ekstrem. Terlihat bahwa puncak-puncak hujan pada tahun 2015, 2017, dan 2018 dapat direpresentasikan lebih akurat oleh hasil koreksi.

Tabel 2. Evaluasi Kinerja Validasi Model RCP 8.5

Evaluasi	Nilai
NSE	0.541
MAE	1.796
RMSE	125.015
PBIAS	0.933

Hasil evaluasi statistik terhadap model CMIP5 Tabel 2 setelah proses downscaling pada skenario RCP 8.5 untuk periode validasi 2013–2019 menunjukkan kinerja yang cukup baik. Nilai NSE sebesar 0,541 menunjukkan model mampu merepresentasikan variabilitas curah hujan dengan cukup akurat. MAE sebesar 1,796 mm/bulan menunjukkan rata-rata kesalahan prediksi yang relatif kecil, sedangkan RMSE sebesar 125,015 mm/bulan masih dapat diterima mengingat fluktuasi curah hujan yang tinggi di wilayah tropis. Nilai PBIAS sebesar 0,933 mengindikasikan bahwa model hanya sedikit melebihkan curah hujan dibandingkan data observasi, namun dalam batas yang sangat kecil dan tidak signifikan.

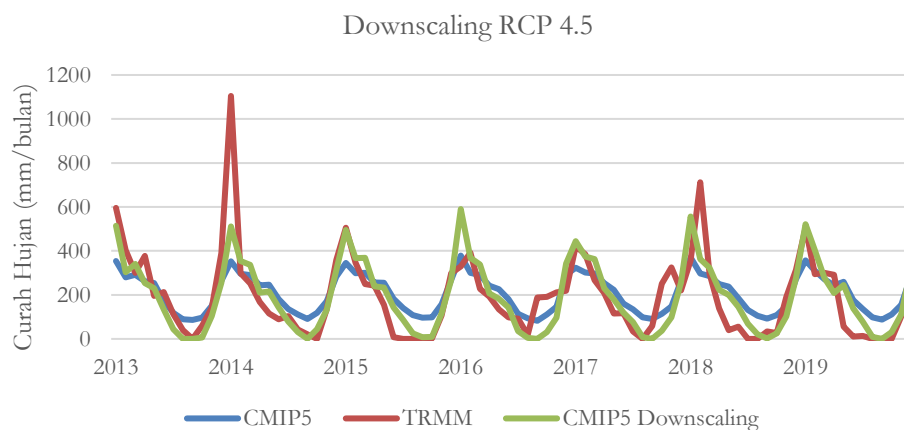


Gambar 6. Proyeksi Curah Hujan *Downscaling* RCP 8.5

Grafik di atas menampilkan proyeksi curah hujan bulanan berdasarkan skenario iklim RCP 8.5 dari tahun 2020 hingga 2080. Dua data yang dibandingkan adalah hasil asli dari model CMIP5 (garis oranye) dan hasil *downscaling* atau koreksi bias terhadap data CMIP5 (garis biru). Hasil proyeksi menunjukkan bahwa model CMIP5 (tanpa koreksi) memberikan estimasi curah hujan yang relatif stabil dan cenderung underestimate nilai curah hujan sepanjang periode proyeksi. Sementara itu, hasil *downscaling* memperlihatkan fluktuasi curah hujan yang lebih tinggi dan lebih realistis, mencerminkan pola variabilitas iklim tropis yang sesungguhnya. Terlihat pula bahwa hasil *downscaling* menunjukkan tren peningkatan intensitas curah hujan ekstrem setelah pertengahan abad, khususnya pada tahun-tahun sekitar 2059, 2062, dan 2077, dengan beberapa puncak curah hujan yang melebihi 1000 mm/bulan. Hal ini dapat mengindikasikan potensi peningkatan kejadian hujan ekstrem dan risiko bencana hidrometeorologis di masa depan jika tidak ada tindakan adaptasi yang memadai.

4.3. *Downscaling* CMIP5 RCP 4.5 dan Proyeksi

CMIP5 RCP 4.5 menunjukkan nilai yang lebih rata dan lebih rendah sepanjang distribusi, terutama pada probabilitas kejadian ekstrem. Ini memperkuat temuan bahwa model RCP 4.5 underestimate curah hujan tinggi, dan dapat menyebabkan kesalahan dalam analisis hidrologi jika tidak dilakukan penyesuaian.

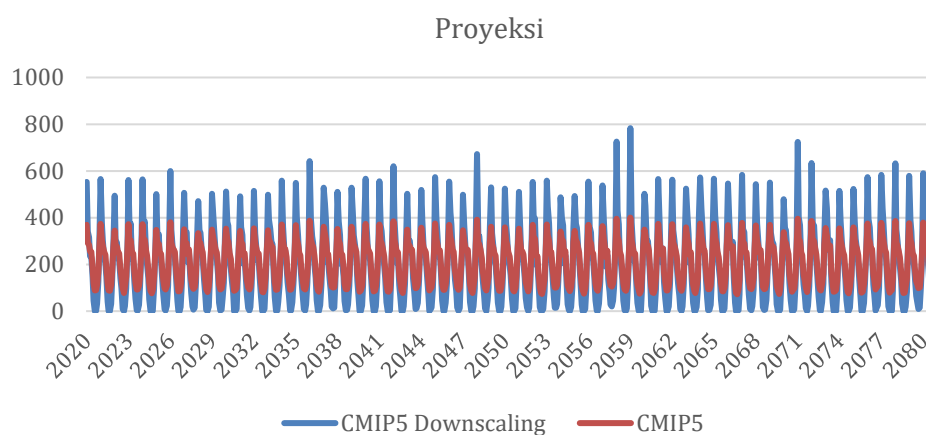


Gambar 7. *Timeseries* Validasi *Downscaling* 2013-2019

Tabel 3. Evaluasi Kinerja Validasi *Downscaling* RCP 4.5

Evaluasi	Nilai
NSE	0.618
MAE	1.124
RMSE	114.032
PBIAS	0.584

Gambar 8 menunjukkan grafik deret waktu (timeseries) curah hujan bulanan hasil validasi model CMIP5 skenario RCP 4.5 terhadap data observasi TRMM selama periode tahun 2013 hingga 2019. Dari grafik terlihat bahwa model CMIP5 tanpa koreksi (garis biru) secara umum berada di bawah nilai TRMM, mengindikasikan bias negatif pada estimasi curah hujan. Setelah dilakukan proses downscaling, kurva hasil koreksi (abu-abu) memperlihatkan peningkatan performa yang signifikan. CMIP5 Downscaling mampu mereplikasi pola musiman dan nilai puncak curah hujan lebih baik dibandingkan model asli. Ini menunjukkan bahwa proses koreksi bias berhasil meningkatkan kesesuaian data model terhadap kondisi observasi. Evaluasi kuantitatif terhadap hasil validasi ditunjukkan pada Tabel 4.6. Nilai NSE (0.618) menunjukkan bahwa model memiliki performa yang baik dalam merepresentasikan variasi data. MAE (1.124 mm/bulan) dan RMSE (114.032 mm/bulan) relatif rendah, mengindikasikan bahwa hasil prediksi cukup mendekati nilai observasi. Selain itu, nilai PBIAS (0.584) menunjukkan adanya sedikit kecenderungan model untuk melebihkan curah hujan, namun masih dalam batas yang wajar.

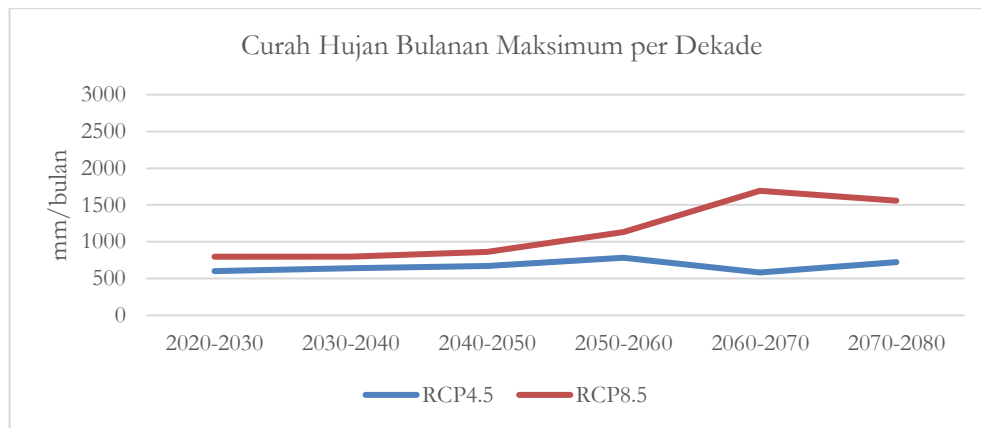


Gambar 8. Proyeksi Hasil *Downscaling* CMIP5 RCP 4.5

Gambar 8. memperlihatkan proyeksi curah hujan bulanan dari tahun 2020 hingga 2080 berdasarkan skenario RCP 4.5. Terlihat bahwa curah hujan hasil *downscaling* menunjukkan variabilitas yang lebih tinggi dan realistis dibandingkan hasil model CMIP5 asli yang cenderung lebih stabil dan merata sepanjang periode proyeksi. Hasil *downscaling* berhasil merepresentasikan fluktuasi musiman serta kejadian ekstrem secara lebih baik, yang mencerminkan karakteristik curah hujan di wilayah tropis. Selain itu, tampak adanya tren peningkatan frekuensi serta intensitas curah hujan tinggi pada beberapa dekade mendatang, terutama setelah tahun 2050. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun RCP 4.5 merupakan skenario mitigasi dengan emisi sedang, tetap terdapat potensi peningkatan risiko hidrometeorologis seperti banjir akibat curah hujan ekstrem.

5.4 Perubahan Curah Hujan Berdasarkan Proyeksi setelah *Downscaling*

Hasil proyeksi curah hujan bulanan dari tahun 2020 hingga 2080 berdasarkan skenario RCP4.5 dan RCP8.5 menunjukkan adanya perubahan pola dan intensitas curah hujan di masa mendatang. Pada kedua skenario, terlihat bahwa bulan-bulan musim hujan seperti Januari, Februari, dan Desember mengalami peningkatan signifikan dalam intensitas curah hujan, terutama pada RCP8.5. Sebaliknya, bulan-bulan musim kemarau seperti Juni hingga September menunjukkan curah hujan yang tetap rendah dan cenderung menurun, mencerminkan potensi perpanjangan musim kering.



Gambar 9. Curah Hujan Bulanan Maksimum per Dekade

Gambar 9 memperlihatkan berdasarkan proyeksi skenario RCP 8.5, DAS Juwana diperkirakan akan mengalami peningkatan signifikan pada curah hujan maksimum bulanan, yaitu naik sebesar 94% dari sekitar 799 mm/bulan pada dekade 2020 menjadi 1.556 mm/bulan pada dekade 2070. Di sisi lain, skenario RCP 4.5 memperlihatkan peningkatan yang lebih moderat, yaitu sebesar 20%, dari 600 mm/bulan menjadi 723 mm/bulan. Kenaikan ini mengindikasikan risiko banjir yang jauh lebih besar, terutama di wilayah hilir seperti Juwana, Batangan, dan Tayu, yang saat ini sudah menghadapi tantangan kapasitas drainase dan sedimentasi. Untuk menghadapi potensi lonjakan debit air tersebut, dibutuhkan peningkatan infrastruktur seperti pelebaran sungai, penguatan pintu air, dan optimalisasi rumah pompa. Selain itu, ketimpangan curah hujan antar dekade yang mencolok pada RCP 8.5 menegaskan pentingnya pengembangan infrastruktur yang adaptif, seperti embung dinamis, kolam retensi, dan sistem tanggul bertingkat. Peluang konservasi air hujan juga perlu dimanfaatkan, terutama untuk pengisian kembali air tanah dan kebutuhan irigasi lahan pertanian serta tambak warga setempat. Namun demikian, pola hujan yang makin ekstrem dan terfokus dalam waktu singkat juga berpotensi memperpanjang masa kering di musim kemarau. Oleh sebab itu, strategi penyimpanan air menjadi kunci untuk menjaga ketahanan air DAS Juwana di masa mendatang.

5. SIMPULAN

Selama 22 tahun terakhir, pola curah hujan di DAS Juwana menunjukkan karakteristik iklim tropis dengan puncak hujan pada bulan Desember hingga Februari, serta variabilitas tahunan yang cukup tinggi. Beberapa tahun, seperti 2006, 2008, dan 2010, tercatat mengalami curah hujan ekstrem yang berkorelasi dengan fenomena La Niña. Secara umum, terdapat kecenderungan peningkatan curah hujan pada musim hujan dan penurunan pada musim kemarau, yang menciptakan ketidakseimbangan musiman dan meningkatkan risiko bencana hidrometeorologi seperti banjir dan kekeringan. Proyeksi curah hujan hingga tahun 2080 berdasarkan skenario iklim RCP4.5 dan RCP8.5 menunjukkan pola yang serupa namun dengan intensitas yang berbeda. Pada skenario RCP4.5, peningkatan curah hujan bersifat moderat di musim hujan dan musim kemarau tetap kering, sementara pada RCP8.5, peningkatan curah hujan jauh lebih tajam di bulan-bulan basah dan cenderung menurun di bulan-bulan kering. Hal ini mengindikasikan adanya perluasan kesenjangan antar musim yang dapat memperberat tantangan dalam pengelolaan air di DAS Juwana di masa depan, sehingga diperlukan strategi adaptasi yang lebih tanggap dan terintegrasi terhadap perubahan iklim.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Direktorat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat, Direktorat Jenderal Riset dan Pengembangan Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains dan Teknologi Tahun Anggaran 2025 dengan Kontrak antara DRTPM Kemendikristek dengan LLDIKTI Wilayah III Nomor 124/C3/DT.05.00/PL/2025 tanggal 28 Mei 2025, Kontrak LLDIKTI Wilayah III dengan dengan Universitas Trisakti Nomor 1014/LL3/AL.04/2025 tanggal 04 Juni 2025 dan Kontrak antara Universitas Trisakti dengan Penerima Hibah PKM Nomor 484/A/LPPM/USAKTI/VI/2025 tanggal 04 Juni 2025.

DAFTAR PUSTAKA

- Abadan, A. C., Kurniyaningrum, E., Rinanti, A., & Pontan, D. (2024). Evaluation Zero Runoff Concept in High-Rise Buildings. *LAIC Transactions on Sustainable Digital Innovation (ITSDI)*, 6(1), 95–105.
- Alfiana, F., Khofifah, N., Ramadhan, T., Septiani, N., Wahyuningsih, W., Azizah, N. N., & Ramadhona, N. (2023). Apply the Search Engine Optimization (SEO) Method to determine Website Ranking on Search Engines. *International Journal of Cyber and IT Service Management (IJCITSM)*, 3(1), 65–73. <https://doi.org/10.34306/ijcitsm.v3i1.126>
- Amin, R., Rinanti, A., Kurniyaningrum, E., Anggraini, D. P., & Assidik, M. L. (2025). Implementation of Low Impact Development (LID) for Urban Drainage Optimization and Flood Mitigation. *VOCATECH: Vocational Education and Technology Journal*, 6(2), 35–47. <https://doi.org/10.38038/vocatech.v6i2.204>
- Basyaruddin, & Effendy, S. (n.d.). Keterkaitan cuaca di Indonesia dengan fenomena bintik matahari (sunspot). *J. Agromet Indonesia*, 21(1), 36–46.
- Candra, O., Kumar, N. B., Dwijendra, N. K. A., Patra, I., Majdi, A., Rahardja, U., Kosov, M., Guerrero, J. W. G., & Sivaraman, R. (2022). Energy Simulation and Parametric Analysis of Water Cooled Thermal Photovoltaic Systems: Energy and Exergy Analysis of Photovoltaic Systems. *Sustainability (Switzerland)*, 14(22). <https://doi.org/10.3390/su142215074>
- Chen, S., Yang, Y., Deng, F., Zhang, Y., Liu, D., Liu, C., & Gao, Z. (2022). A high-resolution monitoring approach of canopy urban heat island using a random forest model and multi-platform observations. *Atmospheric Measurement Techniques*, 15(2), 735–756. <https://doi.org/10.5194/amt-15-735-2022>
- Dipayana, Gilang. A., Nurjani, E., & Adj, Tjahyo. N. (2012). Estimasi Distribusi Spasial Nilai Imbuhan Airtanah Menggunakan Model Water-Budget dan Geographic Information System (GIS) di DAS Opak, DIY. In Universitas Brawijaya (Vol. 2).
- Dhea Ulhaq Mardhatillah, C., Permata Jingga, F., Ramadhani, N., Vrika, R., & Fevria, R. (2022). *Prosiding SEMNAS BIO 2022 UIN Syarif Hidayatullah Jakarta Greenhouse Effect Triggers of Global Warming and Countermeasures Efek Rumah Kaca Pemicu Pemanasan Global dan Upaya Penanggulangannya*.
- Firmansyah, A., Kurniyaningrum, E., Herlina, L., Wihdah Misshuari, I., & Amin, R. (2024). Analisis pengaruh perubahan tata guna lahan menggunakan EPA-SWMM di DAS Krukut. *Indonesian Journal on Construction Engineering and Sustainable Development*, 7(2), 55–62. <https://doi.org/10.25105/10.25105/cesd.v7i2.21759>
- Hussain, S., Raza, A., Abdo, H. G., Mubeen, M., Tariq, A., Nasim, W., Majeed, M., Almohamad, H., & al Dughairi, A. A. (2023). Relation of land surface temperature with different vegetation indices using multi-temporal remote sensing data in Sahiwal region, Pakistan. *Geoscience Letters*, 10(1). <https://doi.org/10.1186/s40562-023-00287-6>
- IPCC. (2007). *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Canadian Electronic Library
- Komara, K. D., Kurniyaningrum, E., Rinanti, A., Pontan, D., Abdilla, R., & Sattar, H. (2025). Rainfall-discharge modeling in Juana Watershed. *Materials Research Proceedings*, 48, 833–842.
- Komara, K. D., Kurniyaningrum, E., Rinanti, A., Yuwono, B. E., & Pontan, D. (2024). Analisis Pengaruh Curve Number terhadap Debit Banjir Menggunakan Metode Pemodelan Hidrologi di DAS Juana: Analysis Curve Number Influence on Flood Discharge using Hydrological Modeling in Juana Watershed. *Technomedia Journal*, 9(3), 332–345. <https://doi.org/10.33050/tmj.v9i3.2296>
- Kurniyaningrum, E., & Kurniawan, M. A. (2023). Climate change effect on water balance for water critically in upper Bogowonto Watershed, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1195(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1195/1/012053>
- Marahatta, S., Aryal, D., Devkota, L. P., Bhattarai, U., & Shrestha, D. (2021). Application of SWAT in Hydrological Simulation of Complex Mountainous River Basin (Part II: Climate Change Impact Assessment). *Water*, 13(11), 1548. <https://doi.org/10.3390/w13111548>
- Phan, T. L. C. H. B., Delorge, I., Avonce, N., & Dijck, P. (2020). Functional Characterization of Class I Trehalose Biosynthesis Genes in *Physcomitrella patens*. *Frontiers in Plant Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01694>
- Rahayu, S., Sabitri, Z., Ghinaya, Z., & Wiharja, H. (2023). ANALISIS BIBLIOMETRIK DALAM PENELITIAN PERANGKAT LUNAK MIKE 21 DALAM INDUSTRI KONSTRUKSI. *Lingkar: Journal of Environmental Engineering*, 4(2), 1–12. <https://doi.org/10.22373/ljee.v4i2.3855>

- Shrestha, S., Bae, D. H., Hok, P., Ghimire, S., & Pokhrel, Y. (2021). Future hydrology and hydrological extremes under climate change in Asian river basins. *Scientific Reports*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-96656-2>
- Sidik, M. P., Rahayu, S., & Wiharja, H. (2022). Analisis perencanaan desain jaringan distribusi air bersih pada proyek CWP-01 pembangunan gedung fakultas pendidikan teknologi dan kejuruan. *VOCATECH: Vocational Education and Technology Journal*, 3(2), 54–64. <https://doi.org/10.38038/vocatech.v3i2.78>
- Wiratri, M., Mahyudin, I., Sri Mahreda, E., & Supari. (2022). Proyeksi pergeseran tipe iklim oldeman di wilayah Kalimantan Selatan pada akhir abad 21 berdasarkan simulasi Cordex-Sea. *EnviroScientiae*, 18(2), 87–99. <https://doi.org/10.20527/es.v18i2.14246>
- Zhang, X., Estoque, R. C., & Murayama, Y. (2017). An urban heat island study in Nanchang City, China based on land surface temperature and social-ecological variables. *Sustainable Cities and Society*, 32, 557–568. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.05.005>
- Zhang, X., Zwiers, F. W., Hegerl, G. C., Lambert, F. H., Gillett, N. P., Solomon, S., Stott, P. A., & Nozawa, T. (2007). Detection of human influence on twentieth-century precipitation trends. *Nature*, 448(7152), 461–465. <https://doi.org/10.1038/nature06025>