

Dekomposisi Curah Hujan Harian Kabupaten Manokwari Menggunakan Metode Ensemble Empirical Mode Decomposition

Elohansen Padang

Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Papua dan e.padang@unipa.ac.id

ABSTRAK

Curah hujan harian di wilayah tropis, seperti di Kabupaten Manokwari, memiliki karakteristik nonlinier dan nonstasioner dengan variabilitas temporal yang tinggi. Karakteristik ini menyulitkan analisis dengan metode spektral konvensional. Penelitian ini bertujuan untuk menerapkan *Ensemble Empirical Mode Decomposition* (EEMD) untuk mendekomposisi curah hujan harian di Kabupaten Manokwari, serta menganalisis karakteristik *Intrinsic Mode Function* (IMF) yang dihasilkan setelah dekomposisi. Data hujan yang digunakan adalah data curah hujan harian Kabupaten Manokwari, Provinsi Papua Barat dalam rentang Januari 2016 hingga November 2025. Data diperoleh dari Stasiun Meteorologi Rendani, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Manokwari. Dari hasil proses dekomposisi dihasilkan 11 IMF yang merepresentasikan osilasi pada berbagai skala waktu. Karakteristik IMF dideskripsikan berdasarkan varians sebagai ukuran energi, kontribusi energi relatif, periode rata-rata, serta uji signifikansi statistik terhadap latar derau putih pada tingkat kepercayaan 95%. Hasil analisis menunjukkan bahwa IMF frekuensi tinggi (IMF1: varians 20.591,5 mm² dan kontribusi 7.007,8%) memiliki kontribusi energi terbesar, mengindikasikan dominasi fluktuasi jangka pendek dalam variabilitas curah hujan. Namun, seluruh IMF tidak signifikan secara statistik pada tingkat kepercayaan 95%. Hal ini menunjukkan bahwa variabilitas curah hujan di Kabupaten Manokwari didominasi oleh fluktuasi acak atau stokastik tanpa osilasi periodik yang stabil sepanjang periode pengamatan. Hasil ini membuktikan bahwa metode EEMD merupakan metode yang efektif untuk mendekomposisi sinyal curah hujan harian tropis dan memberikan landasan metodologis yang kuat untuk menganalisis variabilitas curah hujan di wilayah Papua Barat.

Kata Kunci: Curah Hujan Harian, EEMD, IMF, Variabilitas Hujan, Kabupaten Manokwari

ABSTRACT

Daily rainfall in tropical regions, such as in Manokwari Regency, has a nonlinear and stationary character with high temporal variability. These characteristics complicate analysis using conventional spectral methods that assume signal nonstationarity. This study aims to apply Ensemble Empirical Mode Decomposition (EEMD) to decompose daily rainfall in Manokwari Regency. In addition, it is also to analyze the characteristics of the Intrinsic Mode Function (IMF) produced after the decomposition. The rainfall data used is the daily rainfall data of Manokwari Regency, West Papua Province in the range of January 2016 to November 2025. The data was obtained from the Rendani Meteorological Station of the Climatology and Geophysics Agency (BMKG), Manokwari. The decomposition process produces 11 IMFs that represent oscillations on various time scales. The characteristics of the IMF are described based on variance as a measure of energy, relative energy contribution, average period, and statistical significance test against a white noise background at a 95% confidence level. The analysis results show that the high-frequency IMF (IMF1: variance 20,591.5 mm² and contribution: 7,007.8%) has the largest energy contribution, indicating the dominance of short mirrors in rainfall variability. However, all IMFs are statistically insignificant at the 95% confidence level. This indicates that rainfall variability in Manokwari Regency is dominated by random or stochastic fluctuations without stable periodic oscillations throughout the observation period. These results demonstrate that the EEMD method is an effective method for decomposing tropical daily rainfall signals and provides a strong methodological basis for analyzing rainfall variability in the West Papua region.

Keywords: Daily Rainfall, EEMD, IMF, Rainfall Variability, Kabupaten Manokwari.

PENDAHULUAN

Benua maritim Indonesia merupakan wilayah dengan suhu permukaan laut yang relatif paling tinggi dibandingkan kawasan sekitarnya. Karakteristik geografis tersebut mendukung terbentuknya proses konveksi atmosfer yang intens, sehingga kawasan ini berperan sebagai penggerak utama sirkulasi atmosfer global melalui mekanisme penyerapan dan pelepasan panas laten yang berasal dari proses penguapan (Hidayat dan Ando, 2014). Demikian halnya dengan wilayah Papua Barat, seperti Kabupaten Manokwari, Menunjukkan karakteristik curah hujan harian yang sangat kompleks akibat interaksi antara proses konveksi lokal, sirkulasi regional, dan pengaruh laut yang dominan.

Proses curah hujan pada dasarnya bersifat acak dan nonstasioner, dan rangkaian curah hujan pada dasarnya terdiri dari sinyal yang berbeda dalam skala waktu yang berbeda (Kalteh, 2017; Zhu dkk., 2016). Analisis sinyal curah hujan yang bervariasi terhadap waktu tersebut bukanlah proses yang mudah dan membutuhkan proses dekomposisi menjadi komponen-komponen individual dan setiap komponen dianalisis secara terpisah. Oleh karena itu, perlu metode alternatif yang cocok untuk menganalisis sinyal curah hujan.

Pendekatan menggunakan metode analisis spektral klasik, seperti Transformasi Fourier, telah banyak dilakukan untuk menanganalisis sinyal curah hujan. Akan tetapi, Transformasi Fourier memiliki keterbatasan dalam menganalisis sinyal stasioner karena mengasumsikan stasioneritas dan linearitas yang tetap sepanjang waktu. Sementara itu, metode wavelet memang menyediakan representasi waktu-frekuensi yang lebih baik. Akan tetapi, hasilnya bergantung pada pemilihan *mother wavelet* yang tepat yang seringkali bersifat subjektif dan belum tentu sesuai dengan struktur intrinsik sinyal curah hujan (Tao dkk, 2017). Ketergantungan tersebut dapat menimbulkan ketidakpastian dalam interpretasi hasil, khususnya ketika diaplikasikan pada sinyal curah hujan yang sangat fluktuatif dan tidak teratur seperti yang sering dijumpai di wilayah tropis. Metode *Empirical Mode Mixing* (EMD) adalah metode lain yang dapat diterapkan untuk metode analisis data nonstasioner, seperti curah hujan. Akan tetapi memiliki kekurangan tersendiri seperti mode mixing (Karhikkeyen dan Kumar, 2013)

Sebagai alternatif, *Ensemble Empirical Mode Decomposition* (EEMD) dikembangkan untuk menganalisis sinyal nonlinear dan nonstasioner secara adaptif menjadi komponen-komponen osilasi intrinsik yang disebut sebagai *Intrinsic Mode Functions* (IMF). EEMD pertama kali diperkenalkan oleh Wu dan Huang (2009). Metode EEMD menambahkan derau Gaussian putih berulang-ulang ke dalam sinyal sebelum dilakukan dekomposisi EMD, kemudian merata-ratakannya untuk menekan derau dan memisahkan mode dengan lebih stabil. Teknik EEMD telah digunakan untuk menganalisis variabilitas curah hujan dan hidrometeorologi lainnya. Hasilnya menunjukkan keunggulan metode ini dalam mengekstraksi struktur osilasi multi-skala dari data presipitasi harian.

Beberapa penelitian yang telah dilakukan menggunakan EEMD diantaranya, Alizadeh dkk. (2019) yang meneliti variabilitas curah hujan bulanan menggunakan pendekatan multiskala berdasarkan EEMD di Iran; Guo, dkk (2016) yang menggunakan EEMD untuk analisis trend nonlinear dan osilasi nonstasioner presipitasi di Xinjiang, Barat Laut China; Tao, dkk (2021) menggunakan dekomposisi EEMD untuk analisis total curah hujan bulanan dan curah hujan ekstrim di cekungan Sungai Zangtze.

Meskipun demikian, sebagian besar studi EEMD untuk dekomposisi curah hujan masih berfokus di wilayah Asia Timur, Asia Selatan, dan Amerika Selatan. Kajian yang menerapkan EEMD

untuk menganalisis curah hujan harian di wilayah Indonesia Timur, khususnya di Kabupaten Manokwari, masih sangat terbatas. Padahal wilayah ini memiliki karakter hujan yang unik akibat pengaruh topografi laut, dan sistem konveksi lokal yang kuat. Oleh karena itu, terdapat celah dalam penerapan metode dekomposisi adaptif seperti EEMD untuk memahami struktur karakteristik curah hujan harian di wilayah ini.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menerapkan metode EEMD untuk dekomposisi curah hujan harian Kabupaten Manokwari. Kemudian hasil dekomposisi dan Karakteristik IMF akan dianalisis. Penelitian ini difokuskan untuk evaluasi struktur IMF yang terbentuk, distribusi energi masing-masing IMF, dan sifat-sifat statistik dari IMF. Penelitian ini tidak dimaksudkan untuk interpretasi iklim secara mendalam, melainkan untuk memberikan metodologi dasar yang kuat untuk kajian lanjutan mengenai variabilitas curah hujan di Kabupaten Manokwari.

LANDASAN TEORI

A. Karakteristik Curah Hujan

Curah hujan merupakan fenomena hidrometeorologis yang memiliki sifat variabilitas temporal dan spasial sangat kompleks. Curah hujan ditandai oleh variasi intensitas, frekuensi kejadian, dan pola distribusi dari hari-ke hari hingga lintas musim dan antar tahun. Penelitian terhadap curah hujan harian menunjukkan bahwa proses curah hujan umumnya cenderung nonlinear dan nonstasioner. Karakteristik statistik curah hujan seperti rata-rata, varians, dan pola curah frekuensi curah hujan umumnya berubah terhadap waktu seiring dengan keadaan atmosfir yang sifatnya dinamis (Yan dkk., 2025). Di wilayah tropis, variasi curah hujan umumnya dipengaruhi oleh siklus intramusiman seperti Madden-Julian Oscillaion yang memiliki periode 30-60 hari. Siklus intramusiaman ini terkait dengan konveksi tropis intens yang berubah secara temporal sehingga menambah kompleksitas variabilitas harian (Suhardi, dkk., 2018). Selain itu, sifat nonstasioner curah hujan tergambar dari variabilitas ekstrim yang dipengaruhi oleh venomena iklim seperti ENSO dan kenaikan suhu permukaan laut yang menyebabkan terjadinya tren perubahan intensitas dan frekuensi presipitasi ekstrim di berbagai wilayah dunia (Yan dkk., 2025).

Curah hujan harian seringkali menunjukkan distribusi yang tidak normal dengan banyak hari kering dan rentetan kejadian hujan yang intens secara sporadis. Distribusi yang tidak normal ini menyebabkan analisis statistik tradisional tidak memadai untuk menangkap perilaku dasar fenomena curah hujan (Wang dkk., 2023). Variabilitas ini menggambarkan interaksi antara proses atmosfer makroskopik (misal sirkulasi Hadley dan fenomena Indian Ocean atau Madden-Julian) dan konveksi lokal yang sangat dipengaruhi oleh kondisi permukaan laut dan topografi setempat. Interaksi ini menghasilkan pola hujan harian yang sangat heterogen (Okirya dan Plessis, 2024).

B. Metode Dekomposisi Curah Hujan

Secara matematis, sifat nonstasioner dapat dinyatakan sebagai $E[x(t)^n] = f(t)$, dengan $E[\cdot]$ merupakan operator ekspektasi dan $x(t)$ adalah sinyal curah hujan dalam

rentang waktu t (Kumar dan Kumar, 2021). Karakteristik ini sulit dianalisis jika menggunakan metode spektral konvensional seperti Transformasi Fourier, karena mengasumsikan kestasioneran global dan menggambarkan sinyal sebagai penjumlahan fungsi sinus dan kosinus. Dengan frekuensi tetap, yakni $X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-i2\pi ft} dt$. Asumsi ini tidak cocok untuk sinyal curah hujan yang statistiknya berubah sepanjang waktu.

Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, Transformasi Wavelet. Transformasi wavelet dikembangkan dengan menggunakan fungsi basis yang dapat diskalakan atau digeser yang disebut mother wavelet $\psi(t)$ menghasilkan representasi waktu-frekuensi: $W_x(a, b) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \int_{-\infty}^{\infty} x(t)\psi^*\left(\frac{t-b}{a}\right) dt$, dengan a adalah parameter skala dan b adalah parameter translasi.

C. Metode *Empirical Mode Decomposition* (EEMD)

Metode EEMD merupakan pengembangan dari *Empirical Mode Decomposition* (EMD) yang memiliki kelemahan dalam fenomena mode mixing, dimana komponen frekuensi berbeda cenderung tumpang tindih dalam *Intrinsic Mode Functions* (IMF) dalam skala waktu yang sama. Metode EEMD mengatasi keterbatasan ini melalui integrasi derau Gaussian putih (*white noise*) dengan amplitudo terkontrol ke dalam masukan. Mekanisme ini memungkinkan distribusi sinyal yang lebih baik pada berbagai skala waktu melalui proses ensemble averaging (Wu dan Huang, 2009). Dengan demikian, setiap komponen IMF dapat merepresentasikan karakteristik sinyal-sinyal frekuensi berbeda dari sinyal asli X (Wang dkk., 2024; Rezaiy dan Shabri, 2024, Coutinho dkk., 2025).

Secara matematis, runtun waktu curah hujan harian $R(t)$ dapat didekomposisi menjadi sejumlah *Intrinsic Mode Functions* (IMF) dan satu komponen residual ($Res(t)$) sebagai berikut:

$$R(t) = \sum_{i=1}^n IMF_i(t) + Res(t) \quad (1)$$

dimana setiap IMF pada persamaan (1) merepresentasikan osilasi pada skala waktu tertentu, sedangkan komponen residual menggambarkan kecenderungan jangka panjang dari sinyal (Wang dkk., 2010)

Prosedur dekomposisi EEMD dilakukan dalam beberapa tahapan:

1. Penambahan derau putih dengan amplitudo tertentu ke dalam data curah hujan curah asli.
2. Algoritma EMD digunakan untuk mengekstraksi IMF dari data curah hujan yang telah ditambahkan derau.
3. Mengulang proses dekomposisi untuk sejumlah ensemble.
4. Menghitung IMF rata-rata dari seluruh ensemble untuk memperoleh IMF akhir yang lebih stabil.

Dalam penelitian ini digunakan 100 ensemble, dengan amplitude derau putih sekitar 0,2 kali simpangan baku data, mengikuti praktik yang lazim digunakan dalam studi hidrometrologi dan klimatologi tropis (Salman, dkk., 2017; Darand & Daneshvar, 2014). Proses *shifting* dihentikan berdasarkan kriteria standar EMD, yakni keseimbangan antara jumlah titik ekstrim dan titik potong nol pada setiap IMF.

METODE PENELITIAN

A. Daerah Penelitian dan Sumber Data Curah Hujan

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data curah hujan harian (mm/hari) untuk Wilayah Kabupaten Manokwari, Provinsi Papua Barat. Data diperoleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Stasiun Meteorologi Kelas III Rendani Manokwari yang tersedia secara online pada <https://dataonline.bmkg.go.id/dataonline-home>. Data mencakup periode Januari 2016 hingga Agustus 2025 dengan resolusi temporal harian (3622 data).

Sebelum dilakukan analisis, data curah hujan terlebih dahulu diperiksa untuk mengidentifikasi nilai ekstrim yang tidak wajar dan data yang hilang. Nilai ekstrim yang tidak konsisten dengan kondisi klimatologis Kabupaten Manokwari diperiksa secara manual, sementara data hilang diisi dengan menggunakan interpolasi linear. Setelah data ekstrim dihilangkan dan data hilang diisi, selanjutnya data tersebut digunakan sebagai masukan untuk dekomposisi sinyal menggunakan EEMD untuk memperoleh nilai IMF.

B. Evaluasi Hasil Dekomposisi

Hasil dekomposisi dievaluasi berdasarkan jumlah IMF yang terbentuk, karakteristik osilasi masing-masing IMF, dan kontribusi energi IMF terhadap total variabilitas curah hujan. Kontribusi energi dari setiap IMF dihitung menggunakan rasio varians IMF terhadap varians total sinyal curah hujan. analisis ini bertujuan untuk menilai IMF mana yang memiliki peran dominan dalam merepresentasikan variabilitas curah hujan harian.

Secara matematis, Energi IMF ke-*i* didefinisikan sebagai varians IMF, yang dihitung sebagai

$$E_{IMF_i} = \frac{1}{N-1} \sum_{t=1}^N (IMF_i(t) - \bar{IMF}_i)^2 \quad (2)$$

dengan $IMF_i(t)$ menyatakan nilai IMF ke-*i* pada waktu *t*. \bar{IMF}_i adalah nilai rata-rata IMF ke-*i*, dan *N* jumlah total data harian. Nilai varians ini dipakai sebagai ukuran energi statistik karena IMF berosilasi di sekitar nilai nol dan menggambarkan fluktuasi dalam skala waktu tertentu.

Kemudian, varians total sinyal curah hujan harian dihitung menggunakan,

$$Var(R) = \frac{1}{N-1} \sum_{t=1}^N (R(t) - \bar{R})^2 \quad (3)$$

dengan \bar{R} adalah nilai rata-rata curah hujan harian selama periode pengamatan.

Kontribusi energi relatif masing-masing IMF terhadap variabilitas total curah hujan dinyatakan sebagai rasio varians, yaitu

$$C_{IMF_i} = \frac{Var(IMF_i)}{Var(R)} \quad (4)$$

Nilai C_{IMF_i} (kontribusi energi) menunjukkan seberapa dominan IMF ke- i membentuk variabilitas total curah hujan harian. IMF dengan kontribusi energi yang kecil dianggap sebagai komponen minor atau derau.

C. Uji Signifikansi Statistik IMF

Untuk memastikan bahwa IMF yang diperoleh bukan merupakan hasil derau acak, dilakukan uji signifikansi statistik. Uji signifikansi dilakukan dengan membandingkan energi masing-masing IMF terhadap latar belakang derau putih. Pendekatan ini didasarkan pada karakteristik EEMD terhadap sinyal acak.

Untuk sinyal derau putih, hubungan antara energi dan periode IMF mengikuti hukum pangkat sebagai berikut:

$$E_{noise}(T) = \alpha T^{-\beta} \quad (5)$$

atau dalam bentuk logaritmik,

$$\log(E_{noise}) = -\beta \log(T) + \log(\alpha) \quad (6)$$

dengan T adalah periode rata-rata IMF, α dan β merupakan konstanta empiris yang diperoleh dari hasil dekomposisi derau putih, dengan nilai β mendekati nilai 1.

Batas kepercayaan 95% untuk energi IMF ditentukan berdasarkan energi IMF hasil dekomposisi derau putih, yaitu:

$$\log(E_{95\%}) = -\beta \log(T) + \log(\alpha) + 1,96\sigma \quad (7)$$

dengan σ menyatakan simpangan baku log-energi IMF dari derau putih.

Suatu IMF ke- i dinyatakan signifikan secara statistik apabila memenuhi kriteria,

$$E_{IMF_i} > E_{95\%}(T_i) \quad (8)$$

IMF yang memenuhi kriteria tersebut dianggap merepresentasikan variabilitas fisik curah hujan, sementara IMF yang tidak melampaui batas tingkat kepercayaan 95% dianggap sebagai komponen derau.

D. Perangkat Lunak

Perangkat lunak *Python versi 3.10* digunakan untuk mengimplementasikan metode EEMD dalam mendekomposisi curah hujan harian Kabupaten Manokwari. Perangkat lunak dijalankan secara *online* dalam lingkungan *Google Colaboratory* (<https://colab.research.google.com/>). Program EEMD yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat di: <https://colab.research.google.com/drive/1hLkJkiXERrd4AO0Up2tUiLetzZOxfFz8?usp=sharing>.

HASIL DAN PEMBAHASAN

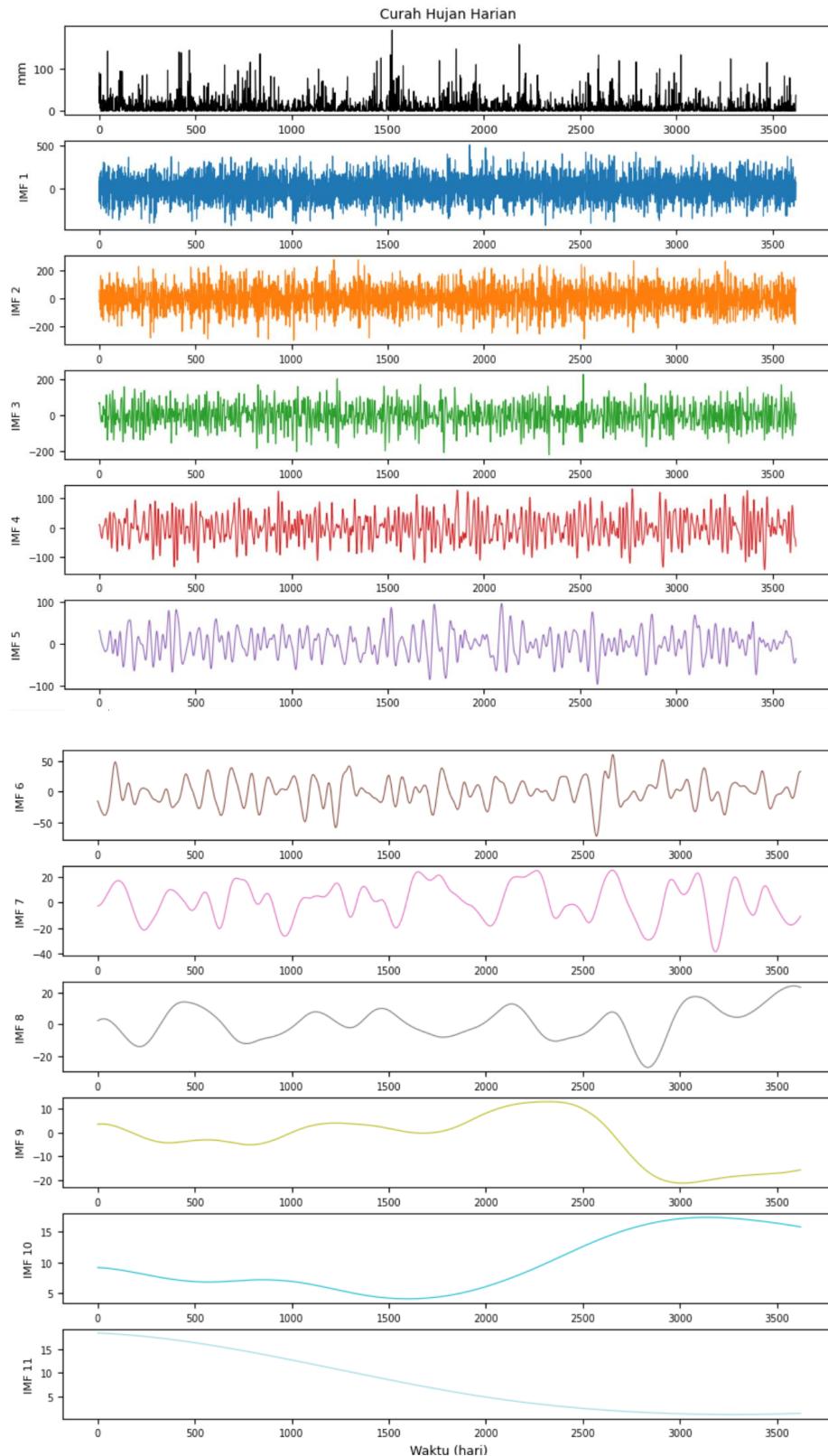
A. Struktur IMF yang Terbentuk

Berdasarkan hasil dekomposisi curah hujan harian Kabupaten Manokwari menggunakan metode dekomposisi EEMD diperoleh 11 IMF. Hasil dekomposisi ditampilkan pada Tabel 1 dan Gambar 1. Banyaknya IMF yang diperoleh menggambarkan kompleksitas temporal sinyal curah hujan harian. fluktuasi curah hujan sangat tinggi, mulai dari harian hingga antar-tahunan. Secara metodologis, jumlah IMF yang relatif banyak merupakan karakteristik umum data curah hujan harian tropis. Hal ini disebabkan karena umumnya curah hujan di daerah tropis ketidakteraturannya sangat tinggi dan juga dipengaruhi oleh kombinasi konvektif lokal dan sistem atmosfer skala besar.

Tabel 1. Nilai varians IMF, kontribusi energi, dan periode rata-rata

IMF	Varians IMF (mm ²)	Kontribusi Energi %	Periode Rata-rata (hari)
1	20.581,5	7.007,8	1,4
2	7.092,8	2.415,0	2,6
3	3.688,7	1.256,0	5,1
4	2.005,7	682,9	10,2
5	835,3	284,4	20,3
6	542,1	184,6	43,1
7	332,8	113,3	88,3
8	117,6	40,0	226,4
9	33,3	11,4	301,8
10	28,8	9,8	905,5
11	48,5	16,5	∞

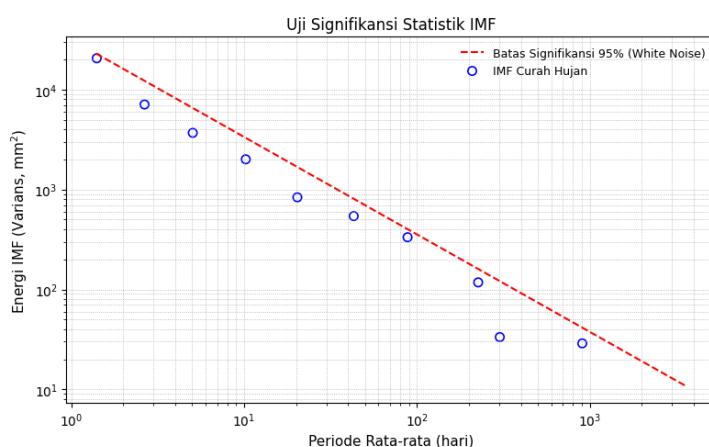
Gambar 1 menampilkan visualisasi sinyal curah hujan asli dan IMF yang dihasilkan oleh EEMD. Secara umum IMF tersebut dapat dikategorikan menjadi IMF awal, IMF Menengah, dan IMF akhir. IMF awal (IMF1-IMF3) menunjukkan osilasi cepat dengan amplitudo tinggi. Hal ini mencerminkan fluktuasi curah hujan harian yang intens dan bersifat sporadis. Kemudian, IMF menengah (IMF4-IMF7) memperlihatkan osilasi yang lebih halus dengan periode yang lebih panjang. Terakhir, IMF akhir (IMF8-IMF11) menunjukkan variasi lambat dengan amplitudo relatif kecil. Pola-pola IMF menunjukkan bahwa EEMD mampu memisahkan sinyal curah hujan menjadi komponen osilasi dan tersusun secara bertingkat dari frekuensi tinggi hingga frekuensi rendah.



Gambar 1. Visualisasi tiap-tiap IMF

B. Karakteristik Energi IMF

Tabel 1 menunjukkan bahwa varians IMF dan kontribusi energi relatifnya menurun seiring dengan bertambahnya periode rata-rata IMF. Kontribusi dalam penelitian ini didefinisikan sebagai rasio varians masing-masing IMF terhadap varians total sinyal curah hujan. IMF 1 memiliki varians tertinggi, ($20.581,5 \text{ mm}^2$) dan kontribusi energi terbesar (7.007,8%). Hal ini mengindikasikan bahwa variabilitas curah hujan di Manokwari didominasi oleh fluktuasi berskala sangat pendek. Sementara itu, IMF dengan periode lebih panjang memiliki varians yang jauh lebih kecil menandakan bahwa fluktuasi lambat berkontribusi relative lebih kecil terhadap total variabilitas curah hujan harian. Distribusi energi ini merupakan ciri khas sinyal hujan harian tropis yang didominasi oleh kejadian hujan intens tetapi umurnya pendek.



Gambar 2. Grafik uji Signifikansi statistik IMF

Meskipun IMF awal memiliki kontribusi yang sangat besar, tetapi hasil uji signifikansi statistik yang ditampilkan pada Gambar 2 dan dirangkum Tabel 2, menunjukkan bahwa tidak satupun nilai IMF signifikan dalam taraf kepercayaan 95%. Hal ini mengindikasikan bahwa energi IMF yang besar pada skala waktu pendek masih berada dalam rentang spektrum derau putih. Dengan kata lain, energi IMF yang didominasi frekuensi tinggi tidak serta merta menunjukkan keberadaan sinyal fisik yang stabil secara statistik. Dominasi energi IMF frekuensi tinggi hanya mencerminkan sifat stokastik dari fluktuasi curah hujan harian Kabupaten Manokwari.

Tabel 2. Hasil penentuan IMF signifikan

IMF	Signifikan 95%
1	False
2	False
3	False
4	False
5	False
6	False
7	False
8	False
9	False
10	False
11	False

C. Stabilitas Dekomposisi

Dekomposisi menggunakan EEMD yang menghasilkan IMF yang terpisah dengan baik. Hal ini terlihat dengan tanpa adanya indikasi mode-mixing (lihat gambar 1) dan menunjukkan jika pemilihan parameter, seperti jumlah ensemble dan amplitude noise, telah sesuai dengan dataset. Tidak munculnya mode-mixing merupakan keunggulan dari EEMD dibandingkan EMD tunggal karena aspek ensemble mengurangi sensitivitas terhadap noise buatan (Wu dan Huang, 2009).

Konsistensi antara pola IMF (Gambar 1), distribusi energi (Tabel 1) dan uji signifikansi (Gambar 2 dan Tabel 2), mengindikasikan EEMD mampu memisahkan komponen frekuensi tinggi dari komponen frekuensi rendah dengan objektif. Ketiga hasil tersebut secara konsisten menunjukkan bahwa fluktuasi berenergi tinggi pada skala waktu pendek bersifat acak. Sementara itu komponen yang periodenya panjang memiliki energi relatif kecil dan tidak cukup kuat untuk melewati batas signifikansi statistik.

D. Pembahasan

Hasil pada penelitian ini menunjukkan jika metode EEMD dapat bekerja secara efektif untuk mendekomposisi sinyal curah hujan harian Kabupaten Manokwari. Metode ini mampu mengekstraksi berbagai skala osilasi sehingga cocok untuk karakteristik hujan tropis yang nonlinear dan nonstasioner serta sangat fluktuatif. Secara statistik, varians IMF frekuensi tinggi yang dominan menunjukkan jika variabilitas curah hujan harian di Kabupaten Manokwari di dominasi oleh fluktuasi acak. Keseluruhan IMF yang tidak signifikan pada taraf 95% mengindikasikan bahwa secara statistik, tidak terdapat osilasi periodik yang stabil dalam rentang waktu pengamatan. Variabilitas yang teramat juga bersifat stokastik.

Dari hasil dekomposisi, pola hujan di Kabupaten Manokwari sangat fluktuatif dari hari ke hari. Curah hujan di kabupaten Manokwari kemungkinan merupakan hujan konvektif tropis yang bersifat intens, sporadis, dan sulit diprediksi. Hal ini mungkin disebabkan karena hujan ekstrim lokal dan variasi harian yang ekstrim dan pengaruh iklim global.

KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah diterapkan metode EEMD untuk mendekomposisi dan menganalisis curah hujan harian Kabupaten Manokwari. Berdasarkan hasil yang diperoleh, kesimpulan yang dapat dikemukakan adalah sebagai berikut: dekomposisi EEMD terhadap data curah hujan harian di Kabupaten Manokwari menghasilkan 11 IMF, analisis energi IMF menunjukkan bahwa IMF frekuensi tinggi memiliki varians dan kontribusi energi relatif paling besar, hasil uji signifikansi statistik terhadap derau putih pada tingkat kepercayaan 95% menunjukkan bahwa seluruh IMF tidak signifikan (*false*) secara statistik. Secara umum hasil penelitian menunjukkan bahwa metode EEMD mampu bekerja secara baik dalam mendekomposisi sinyal curah hujan harian di Kabupaten Manokwari yang nonlinear dan nonstasioner tanpa kehadiran mode mixing yang signifikan. Dengan demikian, metode ini dapat direkomendasikan untuk analisis variabilitas curah hujan di wilayah tropis, seperti Kabupaten Manokwari.

Penggunaan metode EEMD pada penelitian ini pada dasarnya tidak dimaksudkan untuk melakukan interpretasi iklim secara mendalam. Akan tetapi, penelitian ini ditujukan

untuk menyediakan landasan metodologis dan statistik yang kuat. Hasil yang diperoleh diharapkan dapat menjadi dasar untuk penelitian lanjutan, khususnya untuk menganalisis keterkaitan IMF dengan faktor dinamika atmosfer regional maupun global.

REFERENSI

- Alizadeh, F., Roushangar, K., Adamowski, J. (2019). Investigating monthly precipitation variability using a multiscale approach based on ensemble empirical mode decomposition. *Paddy and Water Environment*, 17, 741-759
- Coutinho, E.R., Madeira, J.G.F., Borges, D.G.F. 2025. Multi-Step Forecasting of Meteorological Time Series Using CNN-LSTM with Decomposition Methods. *Water Resource Management*, 39, 3173-3198
- Darand, M., Mansouri Daneshvar, M.R. (2014). Regionalization of Precipitation Regimes in Iran Using Principal Component Analysis and Hierarchical Clustering Analysis. *Environment Process*, 1, 517-532
- Guo, M., Ma, Y., Zhao, Z., Ma, M., Wu, X., Richard W. Mankin, R. W. (2016). A New EEMD-Based Scheme for Detection of Insect Damaged Wheat Kernels Using Impact Acoustics. *Acta Acustica United With Acustica*, 102, 1108-1117
- Hidayat, R dan Ando, K. (2014). Variabilitas Curah Hujan Indonesia dan Hubungannya dengan ENSO/IOD: Estimasi Menggunakan Data JRA-25/JCDAS. *Jurnal Agronet Indonesia*, 28(1), 1-8
- Kalteh, A.M. (2017). Enhanced Monthly Precipitation Forecasting Using Artificial Neural Network and Singular Spectrum Analysis Conjunction Models. *INAE Letter*, 2, 73-81
- Karthikeyan, L., D. Nagesh Kumar, D. N. (2013). Predictability of nonstationary time series using wavelet and EMD based ARMA models. *Journal of Hydrology*, 502, 103-119
- Kumar, A., & Kumar, K. (2024). A multi-objective optimization approach for designing a sustainable supply chain considering carbon emissions. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, 15(5), 1777-1793
- Okirya, M., Plessis, J. D. (2024). Trend and Variability Analysis of Annual Maximum Rainfall Using Observed and Remotely Sensed Data in the Tropical Climate Zones of Uganda. *Sustainability*, 16(14)
- Rezaiy, R., Shabri, A. (2024). Enhancing drought prediction precision with EEMD-ARIMA modeling based on standardized precipitation index. *Water Science and Technology*, 89(3), 745-770
- Saleem A. Salman, S. A., Shahid, S., Ismail, T., Chung, E-S., Al-Abadi, A. M. (2017). Long-term trends in daily temperature extremes in Iraq. *Atmospheric Research*, 198, 97-107
- Suhardi, B., Saputra, H., Haswan, L. J. (2018). Pengaruh Madden Julian Oscillation Terhadap Kejadian Curah Hujan Ekstrem di Provinsi Jawa Barat (Studi Kasus di Kabupaten Sukabumi). *Jurnal Geografi, Edukasi dan Lingkungan*. 2(2).
- Tao, C., Jiang, H., Zawislak, J. (2017). The Relative Importance of Stratiform and Convective Rainfall in Rapidly Intensifying Tropical Cyclones. *Monthly Weather Review*, 145(3), 795-809
- Tao, L., He, X., Qin, J. (2021). Multiscale teleconnection analysis of monthly total and extreme precipitations in the Yangtze River Basin using ensemble empirical mode decomposition. *Internationa Journal of Climatology*, 41, 348–373
- Wang, G., Chen, X-Y., Qiao, F-L. (2010). On Intrinsic Mode Function. *Advances in Adaptive Data Analysis*, 2(3), 277–293
- Wang, Y., Shen Y-J., Zaman, M., Guo, Y., Zhang, X. (2024). Accounting for Non-Stationary Relationships between Precipitation and Environmental Variables for Downscaling Monthly TRMM Precipitation in the Upper Indus Basin. *Remote Sensing*, 15
- Wu, Z. H., & Huang, N. E. (2009). Ensemble Empirical Mode Decomposition: A Noise-assisted Data Analysis Method. *Advances in Adaptive Data Analysis*, 1, 1-41
- Yan L., Zhang, Y., Zhang, M., Lall, U. (2025). A Nonstationary Daily and Hourly Analysis of the Extreme Rainfall Frequency Considering Climate Teleconnection in Coastal Cities of the United States. *Atmosphere*, 16(1), 75
- Zhu, G., Li, X., Zhang, K., Ding, Z., Han, T., Ma, J., Huang, C., He, J., Ma, T. (2016). Multi-model ensemble prediction of terrestrial evapotranspiration across north China using Bayesian model averaging. *Hydrological Process*, 30(16)