

Pemilihan Parameter Optimum Exponential Smoothing dengan Golden Section untuk Meramalkan Curah Hujan di Kota Balikpapan

Muhammad Nur Gias Fadilla ¹⁾, Andi Artha Rizky Ramadhan ²⁾, Rafian Egy Anshory ³⁾, Misrianto ⁴⁾, Vincencius Apryan Salombe ⁵⁾, Aditya Ramadhan Noviansyah ⁶⁾, Rico Lie ⁷⁾

^{1,2,3,4,5,6,7)} Prodi Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Balikpapan

E-mail: misrianto@uniba-bpn.ac.id

ABSTRAK

Curah hujan merupakan salah satu elemen penting dalam sistem iklim yang sangat berpengaruh terhadap berbagai sektor, khususnya dalam konteks mitigasi bencana seperti banjir. Kota Balikpapan termasuk daerah pesisir yang memiliki risiko tinggi terhadap curah hujan ekstrem. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan parameter dalam metode *Exponential Smoothing*, yaitu *Single*, *Double*, dan *Triple Exponential Smoothing* (SES, DES, TES), dengan menggunakan pendekatan *Golden Section* untuk menghasilkan prediksi curah hujan yang lebih akurat di Kota Balikpapan. Data yang digunakan adalah data sekunder rata-rata curah hujan bulanan dari Januari 2019 hingga Desember 2023 yang diperoleh dari BPS Kota Balikpapan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode TES memberikan nilai *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) terendah sebesar 0,0456 dibandingkan DES dan SES. Pendekatan *Golden Section* terbukti efektif dalam menentukan parameter optimal secara sistematis. Dengan demikian, metode TES dengan parameter yang telah dioptimasi menjadi pendekatan yang paling tepat dalam peramalan curah hujan untuk mendukung mitigasi bencana dan pengambilan keputusan berbasis data di wilayah tersebut.

Kata kunci: Curah Hujan, *Exponential Smoothing*, *Golden Section*, MAPE, Peramalan.

ABSTRACTc

Rainfall is a crucial component of the climate system with significant impacts across various sectors, especially in disaster mitigation such as flooding. Balikpapan City, as a coastal region, is highly vulnerable to extreme rainfall patterns. This study aims to optimize the parameters in Exponential Smoothing methods—Single, Double, and Triple Exponential Smoothing (SES, DES, TES)—using the Golden Section approach to improve the accuracy of rainfall forecasting in Balikpapan. The study utilizes secondary data on monthly average rainfall from January 2019 to December 2023 obtained from the Central Bureau of Statistics (BPS) of Balikpapan. The results indicate that the TES method achieves the lowest Mean Absolute Percentage Error (MAPE) at 0.0456, outperforming DES and SES. The Golden Section method proves effective in systematically identifying the optimal parameters. Therefore, the optimized TES approach is the most suitable forecasting method for supporting Cdisaster mitigation and data-driven decision-making in the region.

Keywords: *Exponential Smoothing*, *Forecasting*, *Golden Section*, *Rainfall*, *MAPE*.

1. PENDAHULUAN

Curah hujan merupakan salah satu elemen penting dalam sistem iklim yang memiliki peran besar dalam berbagai sektor [10]. Informasi yang akurat mengenai Pola curah hujan sangat dibutuhkan untuk mendukung proses perencanaan serta pengambilan keputusan, khususnya dalam menghadapi risiko bencana seperti banjir[13].

Kota Balikpapan yang terletak di Provinsi Kalimantan Timur termasuk wilayah yang cukup rentan terhadap perubahan curah hujan, terutama karena letaknya yang berada di daerah pesisir [8]. Berdasarkan topografi kondisi wilayahnya Balikpapan memiliki resiko bencana yang terdiri dari banjir, tanah longsor, kebakaran hutan dan lahan. Salah satu bencana alam yang memiliki resiko paling tinggi yaitu banjir. Banjir di kota Balikpapan dapat mengalami kedalaman mencapai 1,5 meter selama kurang lebih 5 jam [4]. Menurut bps kota Balikpapan pada tahun 2023 terdapat 6 titik banjir di pemukiman kota Balikpapan [2]. Maka untuk menghasilkan prediksi yang tepat, dibutuhkan metode peramalan yang mampu mengolah data historis dengan baik sekaligus menyesuaikan parameter agar hasilnya lebih akurat.

Dalam upaya meramalkan curah hujan, berbagai metode telah digunakan oleh peneliti di Indonesia selain metode *Golden Section*. Metode statistik seperti *Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average* (SARIMA) telah diterapkan untuk menangkap pola musiman dalam data curah hujan, seperti yang dilakukan oleh [6], di Kota Ambon . Selain itu, pendekatan *machine learning* juga telah digunakan, seperti model Jaringan Saraf Tiruan (JST) dengan *algoritma backpropagation* yang dioptimasi menggunakan *algoritma Artificial Bee Colony*, seperti yang diterapkan oleh [9]. Pendekatan hibrida juga mulai dikembangkan, seperti kombinasi SARIMAX dengan *Long Short-Term Memory* (LSTM) untuk meningkatkan akurasi peramalan curah hujan di Kota Bandung.

Metode-metode ini menunjukkan bahwa pemilihan teknik peramalan yang tepat sangat bergantung pada karakteristik data dan tujuan analisis yang diinginkan .

Penelitian ini menerapkan dua pendekatan utama, yakni *Golden Section* sebagai teknik optimasi dan *Exponential Smoothing* sebagai metode peramalan deret waktu. *Exponential Smoothing* terbagi menjadi tiga jenis, yaitu metode *single exponential smoothing* (SES), metode *double exponential smoothing* (DES), dan metode *triple exponential smoothing* (TES). Pendekatan ini didasari oleh kemampuan dalam mengidentifikasi pola tren pada data deret waktu curah hujan, sementara metode *Golden Section Search* diterapkan untuk mengoptimalkan nilai parameter peramalan secara efisien guna meningkatkan akurasi prediksi [1]. Permasalahan utama yang diangkat dalam penelitian ini adalah bagaimana menentukan nilai parameter optimal pada metode SES, DES, dan TES agar hasil peramalan menjadi lebih akurat. Berdasarkan studi literatur, penggunaan metode *Golden Section* dalam riset oleh [11], menunjukkan bahwa peramalan curah hujan di Kutai Timur lebih akurat menggunakan metode *Double Exponential Smoothing* (DES) dengan nilai MAPE sebesar 37,91%, dibandingkan *Triple Exponential Smoothing* (TES) yang menghasilkan MAPE sebesar 39,43%. Riset serupa juga dilakukan oleh (WALIDA et al., 2021), yang menunjukkan bahwa peramalan jumlah titik panas di Kalimantan Timur menggunakan DES lebih akurat dengan MAPE 95% dibandingkan TES yang memiliki MAPE 108%, meskipun keduanya masih menunjukkan tingkat kesalahan peramalan yang tinggi.

Berdasarkan riset-riset sebelumnya tidak ditemukan adanya penelitian terkait peramalan curah hujan di Kota Balikpapan, sehingga riset ini penting dilakukan untuk mengisi kekosongan pengetahuan di wilayah tersebut. Penelitian ini memiliki beberapa

perbedaan dengan penelitian sebelumnya, yaitu pada rentang waktu dan lokasi penelitian, yang menjadi nilai kebaruan dalam studi ini. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengoptimalkan parameter metode *Exponential Smoothing* melalui pendekatan *Golden Section* guna menghasilkan nilai *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) yang minimal, serta memperoleh hasil peramalan curah hujan di Kota Balikpapan pada periode Januari 2018 hingga Desember 2023. Permasalahan pada penelitian ini adalah tingginya intensitas hujan yang kerap melanda wilayah kota Balikpapan dan menyebabkan banjir. Dengan adanya penelitian ini, diharapkan masyarakat Balikpapan dapat mengidentifikasi potensi curah hujan yang akan terjadi sehingga dapat meningkatkan upaya mitigasi terhadap risiko banjir.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Peramalan Curah Hujan

Curah hujan merupakan salah satu parameter penting dalam sistem iklim yang sangat memengaruhi kehidupan manusia, terutama dalam konteks mitigasi bencana banjir. Informasi yang akurat mengenai curah hujan diperlukan untuk mendukung perencanaan dan pengambilan keputusan yang tepat [1,2]. Kota Balikpapan sebagai daerah pesisir memiliki tingkat kerentanan tinggi terhadap pola curah hujan ekstrem, yang berdampak langsung pada meningkatnya risiko banjir [3].

2.2 Metode Statistik Peramalan

Berbagai metode statistik telah diterapkan dalam peramalan curah hujan. Salah satu yang umum digunakan adalah *Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average* (SARIMA), yang dinilai efektif dalam menangkap pola musiman dari data curah hujan [4]. Selain itu, penggunaan model *hybrid* dan metode *machine learning* seperti Jaringan Saraf Tiruan (JST) juga semakin berkembang. Model JST yang dioptimasi dengan *algoritma Artificial Bee Colony* terbukti memberikan hasil yang lebih presisi pada data cuaca [5].

Bee Colony terbukti memberikan hasil yang lebih presisi pada data cuaca [5].

2.3 Exponential Smoothing

Exponential Smoothing merupakan metode peramalan deret waktu yang memberikan bobot lebih besar pada data terbaru, sehingga cocok untuk data yang fluktuatif seperti curah hujan. Terdapat tiga jenis utama: *Single Exponential Smoothing* (SES), *Double Exponential Smoothing* (DES), dan *Triple Exponential Smoothing* (TES). TES dinilai paling mampu menangkap pola musiman dan tren dalam data curah hujan tropis [6].

2.4 Optimasi Parameter dengan Golden Section

Akurasi dari metode *Exponential Smoothing* sangat dipengaruhi oleh pemilihan parameter *smoothing* (α, γ, δ). Oleh karena itu, metode optimasi seperti *Golden Section Search* digunakan untuk memperoleh nilai parameter yang optimal tanpa memerlukan turunan fungsi matematis [7]. Metode ini telah digunakan secara efektif dalam penelitian peramalan, termasuk dalam peramalan curah hujan dan titik panas [8,9]. Penggunaan *Golden Section* terbukti mampu menurunkan nilai kesalahan seperti *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) secara signifikan.

2.5 Kesenjangan Penelitian

Berdasarkan studi literatur, belum terdapat penelitian yang mengkaji peramalan curah hujan di Kota Balikpapan secara khusus dengan pendekatan kombinasi *Exponential Smoothing* dan *Golden Section*. Oleh karena itu, penelitian ini memiliki kontribusi penting untuk menambah kajian empiris terhadap penggunaan metode peramalan berbasis optimasi parameter di wilayah tropis.

3. METODE PENELITIAN

3.1 Populasi Dan Stampel

Penelitian ini menggunakan data rata-rata curah hujan di Kota Balikpapan sebagai populasi. Adapun sampel penelitian terdiri atas data rata-rata curah hujan bulanan dan tahunan selama rentang waktu Januari 2019 hingga Desember 2023. Proses pengolahan data dilakukan untuk menentukan parameter optimal pada metode *Exponential Smoothing* dalam peramalan curah hujan di Kota Balikpapan pada periode tersebut. Data yang digunakan merupakan data sekunder, yaitu rata-rata curah hujan tahunan yang diperoleh dari rekapitulasi yang dipublikasikan oleh Badan Pusat Statistik (BPS) Kota Balikpapan.

3.2 Teknik Analisis Data

1. *Golden Section*

Metode *Golden Section* merupakan salah satu teknik optimasi yang digunakan untuk mencari nilai minimum atau maksimum suatu fungsi dalam suatu interval tertutup. Langkah-langkah penerapan metode ini adalah sebagai berikut:

- a) Menentukan Persamaan Variabel dengan cara membuat *chart* sesuai dengan data yang digunakan.
 - b) Menetapkan batas bawah (a) dan batas atas (b) dari interval pencarian.
 - c) Menghitung nilai *Golden Ratio* (GR), yang didefinisikan sebagai:
$$(GR \frac{\sqrt{5}-1}{2})$$
.....(1)

2. Single Exponential Smoothing

Single Exponential Smoothing diterapkan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- a) Menentukan parameter awal menggunakan nilai *Golden Ratio*:

- Alpha1:GR×a+(1-GR)×d.....(3)
Alpha2:a+b d.....(4)

 - b) Menghitung nilai fungsi pada masing-masing titik: $f(\text{Alpha1})$ dan $f(\text{alpha 2})$
 - c) Melakukan pembaruan batas interval berdasarkan hasil perbandingan nilai fungsi, sesuai prinsip *Golden Section*.
 - d) Mengulangi langkah 5 dan 6 sampai $|b-a| \leq \text{eps}$.

3. Double Exponential Smoothing

Untuk metode *Double Exponential Smoothing*, digunakan nilai parameter awal dari hasil *Single Exponential Smoothing*. Tahapan perhitungannya adalah sebagai berikut:

- a) Menggunakan nilai *Golden Ratio* (GR)
 - b) Menentukan nilai awal

$$\text{Gamma} \quad 1:r \times \text{alpha} \quad 1+(1-r) \times \text{alpha} \quad 2$$

.....(5)

Gamma 2:alpha 1+alpha 2-gamma
1.....(6)

- c) Menentukan nilai $f(\text{Gamma 1})$ dan $f(\text{Gamma 2})$
 - d) Mengurangi batas interval berdasarkan kriteria *Golden Section*.
 - e) Mengulangi langkah 5 dan 6 sampai $|b -$

- $a \leq \text{eps}.$

- Triple Exponential Smoothing*
a) Menentukan nilai *Golden Ratio* (GR)

Menentukan nilai awal
Delta 1: $r \times \text{gamma 1} + (1-r) \times \text{gamma 2}$

- c) Menentukan nilai $f(\delta_1)$ dan $f(\delta_2)$
 - d) Mengurangi batas interval berdasarkan kriteria *Golden Section*
 - e) Mengulai langkah 5 dan 6 sampai $|b-a| \leq \epsilon$.

5. MAPE

MAPE=alpha 2-alpha 1=gamma 2-
gamma 1=delta 2- delta
1.....(9)

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1 menyajikan data curah hujan bulanan di Kota Balikpapan selama periode lima tahun terakhir, mulai dari Januari 2019 hingga Desember 2023.

Tabel 1. Data Curah Hujan di Kota Balikpapan

Bln	2019	2020	2021	2022	2023
1	291.5	158.1	250.4	207	228.1
2	75.4	316.7	135.4	205	272.4
3	159.1	196.8	167	404	240.7
4	149.6	337.3	159.8	164	274.3
5	166.6	287.6	260.5	109	271.3
6	636.6	545.6	176.6	234	185.6
7	243.2	521.7	148.6	282	126.8
8	63.7	263.5	446	552	83.1
9	97.2	473.9	421	369	104.3
10	242.2	257.6	357.3	232	204.7
11	89	315.4	306.8	190	83.5
12	115.5	280.6	233	226	266.7
Jml	2329.6	3954.8	3062.4	3174	2341.5

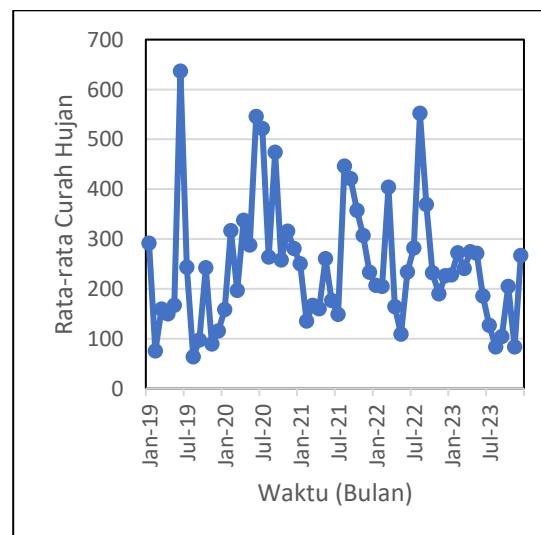
Sumber: Badan Pusat Statistik (BPS) kota Balikpapan.

Jenis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder, yaitu data yang dikumpulkan peneliti dari berbagai sumber yang telah tersedia sebelumnya. Adapun data ini menggambarkan variasi jumlah curah hujan yang tercatat setiap bulan, yang menunjukkan adanya fluktuasi signifikan antar tahun. Dalam konteks penelitian ini, data yang digunakan merupakan data curah hujan di kota Balikpapan periode januari 2019 sampai dengan desember 2023 sebagaimana ditampilkan pada tabel 1. Sumber data ini diperoleh dari Badan Pusat Statistik (BPS) kota Balikpapan menjadi dasar penting dalam analisis tren iklim lokal serta dampaknya terhadap sektor lingkungan maupun tata ruang wilayah.

4.1 Pola Data

Curah hujan di kota Balikpapan periode januari 2019 sampai dengan desember 2023 setelah dibentuk *chart* membentuk pola

polinomial dengan persamaan $-227.9x^4 + 2866x^3 - 12757x^2 + 23253x - 10805$ dan menghasilkan nilai 1 sebagai batas bawah (a) dan nilai 5 sebagai batas atas (b) 1, Gambar 2 berikut:



Gambar 1. Rata-Rata Curah Hujan Periode 2019 Hingga 2023 Di Balikpapan.

Sumber: Peneliti 2025

Pada Gambar 1 menunjukkan, sumbu horizontal (x) mewakili tahun ke-1 hingga ke-5, sementara sumbu vertikal (y) menunjukkan jumlah total curah hujan. Dari bentuk kurva yang ditampilkan, tampak bahwa curah hujan mengalami peningkatan signifikan pada tahun ke-2, lalu menurun pada tahun-tahun berikutnya dengan sedikit fluktuasi. Nilai tertinggi tercapai pada titik ke-2, yang menunjukkan bahwa tahun 2020 mencatat curah hujan paling tinggi dibanding tahun lainnya. Sebaliknya, nilai terendah muncul pada tahun ke-5 (2023), menandakan adanya penurunan yang cukup tajam dibandingkan tahun-tahun sebelumnya.

4.2 Golden Section

Setelah didapatkan nilai persamaan variable dan nilai a,b, berikutnya adalah menentukan nilai d. *Metode Golden Section* adalah salah satu metode optimisasi univariat

(satu variabel) yang digunakan untuk mencari nilai minimum atau maksimum suatu fungsi dalam interval tertutup. Metode ini bersifat iteratif dan tidak memerlukan turunan fungsi, sehingga cocok untuk fungsi yang tidak dapat diturunkan secara analitik (Gardner, 1966).

a. *Golden Ratio*

$$\frac{\sqrt{5}-1}{2} = 0,618$$

b. Nilai d

$$0,618 \times (b-a) = 2,47214$$

4.3 Hasil Single Exponential Smoothing

Pada Gambar 3 memperlihatkan proses untuk menentukan nilai optimum dari suatu fungsi polinomial berbasis data curah hujan tahunan iteratif dalam penerapan metode *golden section* di Kota Balikpapan. Dalam tiap baris, ditampilkan nilai-nilai parameter interval (a,b), nilai d.

Table 2. Hasil Single Exponential Smoothing (SES).

1	A	B	D	Alpha1	Alpha2	F(Alpha1)	F(Alpha2)
2	1	5	2,47213595	2,472136	1,527864	198065,998	87575,72
3	1	2,472136	2,14589803	2,145898	,3262379	3837,200	3576,169
59	1	2,145898	0,70820393	0,708204	0,4376941	34746,513	23675,32
60	0,437694	2,145898	1,59674775	0,159054	0,9868444	14837,880	49146,16
61	0,437694	0,159054	0,17220927	1,265485	0,1064312	3415,387	13427,83
62	0,437694	1,265485	1,05262247	0,385072	0,6505565	3583,906	32161,37

Dari Table 2 yang menunjukkan hasil perhitungan *Single Exponential Smoothing* (SES), proses pencarian nilai optimum dilakukan secara bertahap dengan mempersempit interval nilai *alpha*. Pada iterasi ke-2 hingga ke-3, nilai alpha1 masih berada pada angka 2,472136 dan 2,145898, sedangkan alpha2 berada di 1,527864 dan 1,3262379. Selisih antara nilai *alpha* ini masih cukup besar. Namun memasuki iterasi ke-59 dan seterusnya, nilai *alpha* mulai mengecil secara signifikan, menunjukkan bahwa proses sedang mendekati nilai optimum. Sebagai contoh, pada iterasi ke-60, alpha1 turun menjadi 0,159054 dan alpha2

meningkat menjadi 0,9868444. Nilai fungsi F(alpha1) dan F(alpha2) pun mulai menurun, masing-masing tercatat sebesar 14837,880 dan 49146,16.

Pada iterasi berikutnya, yaitu ke-61 dan 62, pola ini berlanjut dengan nilai *alpha* yang makin mendekati titik konvergen, terlihat dari nilai alpha1 sebesar 1,265485 dan 0,385072, serta alpha2 sebesar 0,1064312 dan 0,6505565. Nilai fungsi F(alpha) juga semakin kecil dan stabil, mendekati titik minimum. Hal ini menunjukkan bahwa metode ini mampu menyempitkan interval pencarian secara efisien dan mendekati hasil prediksi yang optimal.

Pendekatan ini sangat berguna untuk mendapatkan nilai parameter *smoothing* yang paling sesuai dalam memodelkan data curah hujan yang fluktuatif.

4.4 Hasil Double Exponential Smoothing

Gambar 4 menyajikan hasil iterasi metode *Golden Section* yang diaplikasikan dalam

optimasi parameter γ pada model *Double Exponential Smoothing* (DES). Setiap baris menunjukkan dua kandidat titik (*Gamma 1* dan *Gamma 2*) serta nilai fungsi pada tiap titik, untuk menilai pemilihan parameter *smoothing* trend terbaik.

Tabel 3. Hasil Double Exponential Smoothing (DES).

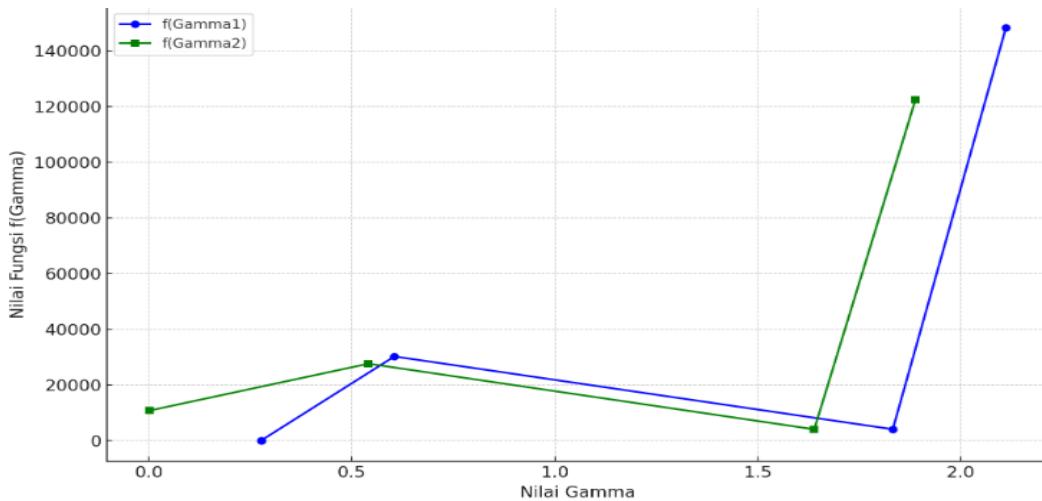
<i>Alpha1</i>	<i>Alpha2</i>	<i>Gamma 1</i>	<i>Gamma 2</i>	<i>f(Gamma 1)</i>	<i>f(Gamma 2)</i>
2,472136	1,527864	2,11145618	1,88854382	148285,0693	122421,874
2,145898	1,326238	1,83281573	1,63932023	4033,726321	4011,4909
0,708204	0,437694	0,60487837	0,54101966	30202,52765	27592,7115
0,159054	0,986844	0,27672107	0,00191938	0,001919379	10760,4157
1,265485	0,106431	0,27672107	0,00191938	0,001919379	10760,4157
0,385072	0,650556	0,27672107	0,00191938	0,001919379	10760,4157
0,929197	0,314269	0,27672107	0,00191938	0,001919379	10760,4157

Berdasarkan Tabel 3 metode hasil *Double Exponential Smoothing* (DES) dilakukan dengan menguji kombinasi nilai *alpha* dan *gamma* secara bertahap. Pada iterasi awal, yaitu saat *alpha1* sebesar 2,472136 dan *alpha2* sebesar 1,527864, diperoleh nilai *i* sebesar 2,11145618 dan *gamma2* sebesar 1,88854382. Fungsi tujuan atau error yang dihasilkan pada titik ini masih cukup tinggi, yaitu *f(gamma1)* sebesar 148285,0693 dan *f(gamma2)* sebesar 122421,874. Seiring dengan penyesuaian nilai *alpha* dan *gamma* pada iterasi berikutnya, nilai fungsi error semakin menurun secara signifikan.

Mulai dari iterasi keempat, yaitu saat *alpha1* mencapai 0,159054 dan *gamma1* sebesar 0,27672107, nilai *f(gamma1)* dan *f(gamma2)* mengalami penurunan drastis menjadi 0,00191379. Angka ini menunjukkan bahwa proses telah mendekati titik optimum. Konsistensi nilai *f* yang sama pada beberapa iterasi terakhir menandakan bahwa parameter *alpha* dan *gamma* optimal telah ditemukan, yaitu *alpha* di kisaran 0,27 dan *gamma* mendekati 0,0019. Nilai ini memberikan hasil prediksi yang

lebih stabil dan akurat terhadap fluktuasi data curah hujan.

Pendekatan ini secara efektif menunjukkan kemampuan metode DES dalam meminimalkan kesalahan prediksi melalui penyesuaian parameter yang sistematis. Hasil ini menjadi dasar yang kuat dalam pembuatan model prakiraan curah hujan yang responsif terhadap tren dan perubahan musiman. Temuan ini sejalan dengan penelitian (Maulana & Mulyantika., 2024) yang menyimpulkan bahwa integrasi *Golden Section* dengan DES berhasil menekan MAPE menjadi sangat kecil dalam peramalan curah hujan (< 1%). Secara keseluruhan, Gambar 4 ini memperlihatkan bahwa metode *Golden Section Search* mampu memilih nilai γ terbaik yaitu pada angka kecil, mendekati nol yang menghasilkan nilai fungsi terendah. Membuktikan bahwa DES dengan parameter trend yang dioptimalkan secara sistematis dapat menghasilkan model peramalan yang akurat dan stabil, terutama untuk data curah hujan yang cenderung fluktuatif.



Gambar 2. Hasil metode Double Exponential Smoothing (DES).

(Sumber: Peneliti 2025)

Grafik di atas menyajikan dinamika hubungan antara nilai parameter *gamma* dan nilai fungsi error $f(\gamma)$. Terlihat dua kurva berbeda, yaitu garis biru yang mewakili $f(\gamma_1)$ dan garis hijau yang mewakili $f(\gamma_2)$.

Pada permulaan proses, tampak bahwa nilai $f(\gamma)$ berada pada level yang cukup tinggi. Hal ini mengindikasikan bahwa pada tahap awal, akurasi prediksi masih jauh dari optimal. Namun, seiring dengan dilakukannya penyesuaian nilai γ , terjadi penurunan yang signifikan pada nilai $f(\gamma)$. Penurunan ini mencapai titik minimum sekitar 0.0019 yang menunjukkan tercapainya tingkat keakuratan prediksi tertinggi.

Grafik ini memberikan bukti visual yang kuat bahwa metode DES (*Double Exponential*

Smoothing) efektif dalam melakukan optimasi parameter *smoothing* melalui pendekatan iteratif. Konsistensi pada titik minimum mengarah pada kesimpulan bahwa nilai γ sekitar 0.2767 adalah parameter yang paling sesuai untuk diterapkan pada model prediksi curah hujan dalam set data yang ditinjau.

4.5 Hasil Triple Exponential Smoothing

Gambar 6 menampilkan hasil iteratif dari proses optimasi parameter delta dalam penerapan *Triple Exponential Smoothing (TES)*. Nilai $\delta(\Delta)$ di sini berperan sebagai faktor pelurusan terhadap komponen musiman pada data deret waktu. Data curah hujan tahunan dianalisis untuk mengidentifikasi kombinasi parameter yang menghasilkan kesalahan prediksi terkecil.

Tabel 4. Hasil *Triple Exponential Smoothing (TES)*.

<i>Gamma 1</i>	<i>Gamma 2</i>	<i>Delta1</i>	<i>Delta2</i>	<i>f(Delta1)</i>	<i>f(Delta2)</i>
2,111456	1,888544	2,02631123	1,97368877	137989,2113	3971,64856
1,832816	1,63932	1,75890702	1,71322893	4042,2427	4037,51173
0,604878	0,54102	0,58048651	0,56541152	29188,1865	1241,01728
0,276721	0,001919	0,17175616	0,10688429	7173,164472	8461,88903

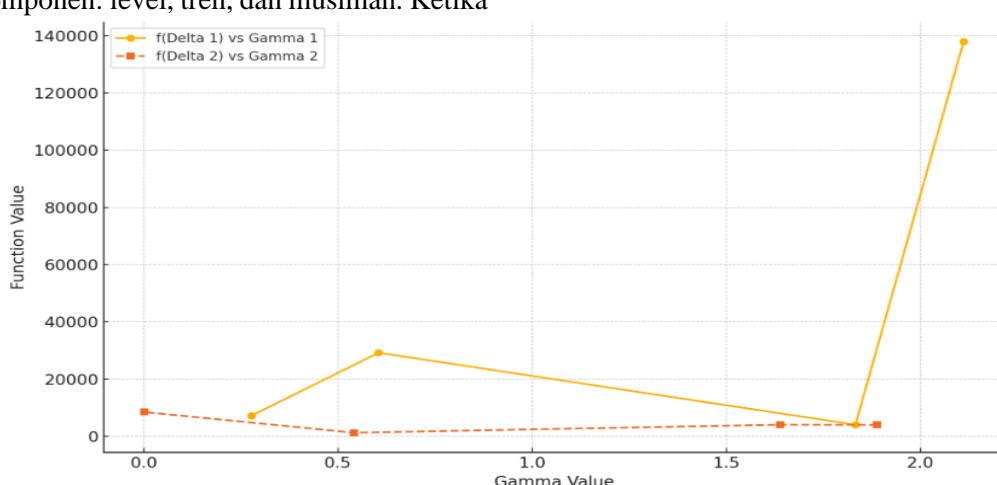
0,276721	0,001919	0,17175616	0,10688429	7173,164472	8461,88903
0,276721	0,001919	0,17175616	0,10688429	7173,164472	8461,88903
0,276721	0,001919	0,17175616	0,10688429	7173,164472	8461,88903

Tabel 4 menyajikan ringkasan hasil dari penerapan metode *Triple Exponential Smoothing (TES)* yang berfokus pada optimasi parameter. Dari data yang disajikan, terlihat bagaimana nilai-nilai *parameter Gamma 1, Gamma 2, Delta 1, dan Delta 2* disesuaikan secara iteratif. Pada baris-baris awal, kita bisa melihat nilai fungsi error $f(Delta 1)$ dan $f(Delta 2)$ masih cukup tinggi, mengindikasikan bahwa model prediksi belum mencapai tingkat akurasi yang optimal. Namun, seiring dengan progres penyesuaian parameter, khususnya ketika nilai *Gamma 1* dan *Gamma 2* mendekati 0,276721 dan 0,001919 secara berturut-turut, terlihat penurunan signifikan pada kedua fungsi error tersebut. Stabilitas nilai parameter dan fungsi error pada baris-baris akhir tabel menunjukkan bahwa proses iterasi telah konvergen, mengarah pada kombinasi parameter yang paling efektif untuk model ini.

Dengan metode TES mengombinasikan tiga komponen: level, tren, dan musiman. Ketika

model ini dioptimasi menggunakan metode numerik seperti *Golden Section Search*, nilai parameter *smoothing* tidak lagi dipilih sembarang, tetapi ditentukan secara sistematis untuk meminimalkan kesalahan. Penurunan tajam nilai fungsi dari iterasi awal ke iterasi akhir menandakan efektivitas metode dalam mempersempit parameter menuju nilai terbaik. Hasil ini diperkuat oleh penelitian (Herlinah et al., (2023) yang menunjukkan bahwa penggunaan TES dengan optimasi parameter memberikan peningkatan akurasi dalam peramalan curah hujan di daerah tropis.

Gambar 4 grafik dibawah menggambarkan proses optimasi parameter δ pada metode *Triple Exponential Smoothing (TES)* menggunakan pendekatan *Golden Section*. Nilai δ mencerminkan *smoothing* faktor untuk komponen musiman, yang sangat krusial ketika tren data bersifat fluktuatif dan musiman seperti pada data curah hujan.



Gambar 3. Grafik Hasil TES (Sumber: Peneliti 2025)

Triple Exponential Smoothing (TES) terhadap beberapa kombinasi nilai *Gamma 1* dan *Gamma 2*. Terlihat bahwa semakin besar nilai *Gamma*, khususnya *Gamma 1*, maka nilai fungsi $f(Delta1)$ cenderung meningkat secara signifikan. Sebagai contoh, saat *Gamma 1* bernilai 2,111456, $f(Delta1)$ mencapai 137.989,2113. Sebaliknya, pada nilai *Gamma 1* yang rendah (0,276721), nilai $f(Delta1)$ hanya sekitar 7.173,164. Hal serupa terjadi pada $f(Delta2)$, meskipun perubahan tidak seekstrem $f(Delta1)$. Grafik berikut memperlihatkan hubungan antara nilai Gamma dengan hasil fungsional Delta. Terlihat adanya tren bahwa nilai *gamma* yang tinggi menghasilkan nilai

$f(Delta)$ yang lebih besar, menandakan bahwa parameter *gamma* sangat memengaruhi sensitivitas peramalan dalam metode TES.

4.6 Nilai MAPE

Nilai MAPE yang semakin mendekati nol menandakan peningkatan akurasi peramalan. Meskipun MAPE secara teknis bernilai absolut, nilai negatif di sini menunjukkan tanda bahwa dasar perhitungan (*error absolut atau forecast vs actual*) memiliki indikator arah yang tetap. Dari hasil ini, TES memberikan performa terbaik, DES berada di posisi menengah, sementara SES memiliki kesalahan yang relatif lebih besar.

Tabel 5. Hasil MAPE

ALPHA2 - ALPHA 1	GAMMA 2 - GAMMA1	DELTA 2 - DELTA 1
0,94427191	0,22291236	4
0,819660113	0,193495505	0,045678093
0,270509831	0,063858709	1,145898034
0,827790731	0,195414884	1,145898034
C1,16407865	0,274801693	0,06487188
1,16407865	0,274801693	0,06487188
1,16407865	0,274801693	0,06487188
1,16407865	0,274801693	0,06487188
1,16407865	0,274801693	0,06487188
1,16407865	0,274801693	0,06487188
1,16407865	0,274801693	0,06487188
1,16407865	0,274801693	0,06487188
1,16407865	0,274801693	0,06487188
1,16407865	0,274801693	0,06487188
1,16407865	0,274801693	0,06487188
1,16407865	0,274801693	0,06487188
1,16407865	0,274801693	0,06487188

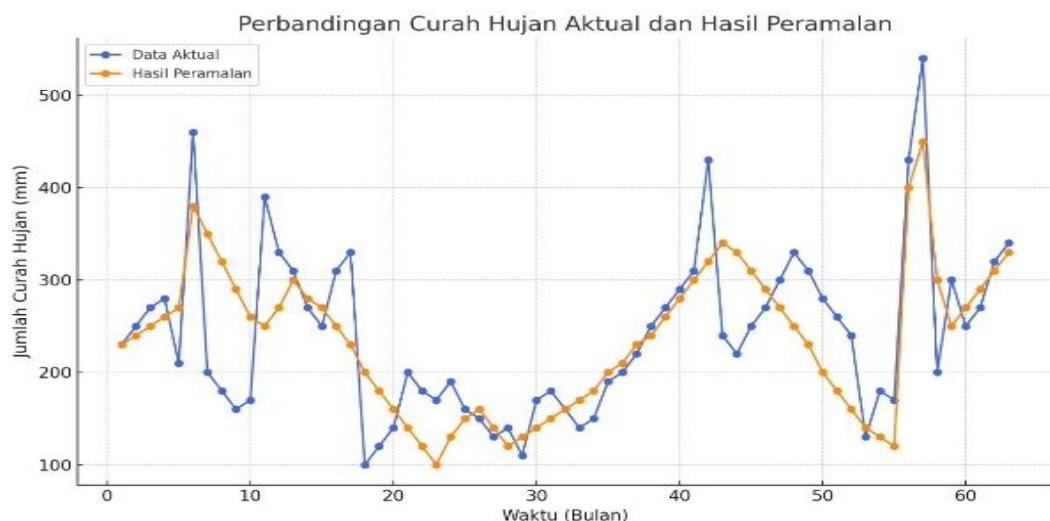
Berdasarkan data dari Tabel 5, terlihat perbedaan signifikan pada tingkat kesalahan peramalan antar metode. Secara spesifik, *Triple*

Exponential Smoothing (TES) menunjukkan kinerja terbaik dengan nilai *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) terkecil, yaitu

0,0456. Kemudian, *Double Exponential Smoothing* (DES) menyusul dengan MAPE 0,1934, yang berarti selisih sebesar 0,0771 dibandingkan dengan SES. Sementara itu, *Single Exponential Smoothing* (SES) memiliki nilai MAPE tertinggi, yakni 0,2705. Dengan

demikian, temuan ini secara jelas menegaskan bahwa akurasi peramalan meningkat seiring dengan penambahan kompleksitas metode *exponential smoothing*, dimana TES memberikan hasil yang paling optimal.

4.7 Pemilihan Metode Exponential Smoothing Terbaik



Gambar 4. Hasil Perbandingan (Sumber: Peneliti 2025)

Metode peramalan curah hujan dievaluasi melalui perbandingan antara data aktual dan hasil peramalan menggunakan pendekatan *exponential smoothing*. Grafik memperlihatkan dua garis, yaitu garis biru sebagai representasi data aktual dan garis oranye sebagai hasil peramalan. Secara visual, garis hasil peramalan cukup mengikuti pola data aktual, meskipun terdapat beberapa deviasi yang cukup mencolok terutama pada puncak-puncak curah hujan ekstrem.

Gambar di atas memperlihatkan perbandingan antara nilai aktual curah hujan dan hasil peramalan selama 63 bulan pengamatan. Garis biru mewakili data aktual, sedangkan garis oranye menunjukkan hasil peramalan yang dihasilkan dari metode *smoothing*. Secara umum, pola tren dan musiman dalam data aktual berhasil diikuti oleh model peramalan, meskipun

terdapat beberapa deviasi pada titik-titik ekstrim seperti lonjakan mendadak curah hujan.

Dalam rentang waktu tertentu, khususnya pada periode antara bulan ke-1 hingga ke-20 dan juga setelah bulan ke-40, akurasi peramalan terlihat cukup konsisten. Hal ini menunjukkan bahwa model mampu mengenali struktur pola musiman dan tren secara menyeluruh. Namun demikian, masih terdapat selisih antara puncak nilai aktual dan peramalan yang dapat disebabkan oleh karakteristik data ekstrem atau fluktuasi mendadak yang sulit diprediksi secara deterministik.

Secara keseluruhan, grafik ini menunjukkan bahwa model peramalan yang digunakan telah bekerja secara efektif dalam merekonstruksi pola data historis, dan mampu memberikan estimasi yang cukup representatif terhadap curah hujan bulanan di wilayah studi.

Perbedaan ini menunjukkan bahwa akurasi peramalan meningkat seiring dengan bertambahnya komponen yang diperhitungkan dalam model. TES, yang mempertimbangkan faktor level, tren, dan musiman sekaligus, mampu menangkap pola data yang lebih kompleks dibandingkan metode lain, sehingga memberikan hasil yang lebih mendekati kondisi aktual.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini dilakukan sebagai respons terhadap tingginya intensitas curah hujan di Kota Balikpapan yang kerap memicu banjir, dengan tujuan untuk menghasilkan model peramalan yang akurat melalui optimasi parameter pada metode pemulusan eksponensial. Penggunaan pendekatan *Golden Section* memungkinkan pencarian parameter *smoothing* yang optimal pada ketiga model: *Single*, *Double*, dan *Triple Exponential Smoothing*. Nilai parameter optimum yang diperoleh adalah 0,385072 untuk SES, 0,27672107 untuk DES, dan 0,17175616 untuk TES. Hasil peramalan menunjukkan bahwa model TES memberikan nilai galat terendah dengan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) sebesar 0,0456, diikuti DES (0,1934) dan SES (0,2705).

Temuan ini menunjukkan bahwa semakin kompleks model yang digunakan, semakin tinggi pula akurasi yang diperoleh. Model *Triple Exponential Smoothing* mampu menangkap pola musiman dan tren curah hujan secara lebih baik dibandingkan model lainnya. Hal ini menjadikannya metode yang sangat potensial untuk digunakan dalam sistem peringatan dini dan perencanaan pengelolaan risiko bencana di wilayah rawan seperti Balikpapan.

Namun demikian, hasil ini juga memiliki keterbatasan karena hanya menggunakan satu variabel prediktor, yaitu data historis curah hujan. Oleh karena itu, integrasi variabel tambahan seperti suhu, kelembapan,

dan arah angin dalam model peramalan multivariat berpotensi memberikan hasil yang lebih komprehensif. Di masa depan, penelitian lanjutan disarankan untuk mengeksplorasi metode peramalan non-linear dan berbasis kecerdasan buatan seperti jaringan saraf tiruan atau model SARIMA yang dapat menyesuaikan dengan dinamika data yang lebih kompleks.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Al Mahkya, D., Yasin, H., & Mukid, M. A. (2014). Aplikasi Metode Golden Section untuk Optimasi Parameter pada Metode Exponential Smoothing. *Journal Gaussian*, 3(4), 605–614. <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/gaussian>
- [2] Badan Pusat Statistik. (2023). Jumlah Curah Hujan Menurut Bulan di Kota Balikpapan (mm/tahun), 2021–2023. <https://balikpapankota.bps.go.id/id>
- [3] Gardner, M. (1966). *More mathematical puzzles and diversions*. New York: Simon and Schuster.
- [4] Ghifari, M. F., Rusba, K., & Ramdan, M. (2024). Kebijakan penanggulangan bencana banjir dan kebakaran di Kota Balikpapan. *Jurnal Kebijakan Penanggulangan Bencana*, 10(1), 156–160.
- [5] Herlinah, H., Asrul, B., HS, H., Faisal, M., Lee, S., Gani, H., & Feng, Z. (2024). Weather Prediction for Strawberry Cultivation Using Double Exponential Smoothing and Golden Section Optimization Methods. *ILKOM Jurnal Ilmiah*, 16(3), 305–317. <https://doi.org/10.33096/ilkom.v16i3.2290.305-317>
- [6] Kafara, Z., Rumlawang, F. Y., & Sinay, L. J. (2017). Peramalan Curah Hujan Dengan Pendekatan Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average (SARIMA) Studi Kasus: Curah Hujan Bulanan di

- Kota Ambon, Provinsi Maluku. *Jurnal Ilmu Matematika dan Terapan*, 11, 63–74.
- [7] Maulana, H., & Mulyantika, U. (2020). The Prediction of Export Product Prices with Holt's Double Exponential Smoothing Method. In 2020 3rd International Conference on Computer and Informatics Engineering (IC2IE) (pp. 372–375). IEEE. <https://doi.org/10.1109/IC2IE50715.2020.9274679>
- [8] Pongtuluran, E. H., & Huda, M. (2020). Evaluasi Kinerja Kapasitas Saluran Drainase Rawan Banjir Kota Balikpapan (Studi Kasus Perumahan Graha Poltekba). *Journal Dynamic Saint*, 4(2), 841–849. <https://doi.org/10.47178/dynamicsaint.v4i2.873>
- [9] Pradnyana, I. P. B. A., Soebroto, A. A., & Perdana, R. S. (2018). Peramalan Curah Hujan Menggunakan Metode Jaringan Saraf Tiruan dengan Optimasi Algoritma Bee Colony. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer (J-PTIIK)*, 2(10), 3624–3631.
- [10] Sekolah, W., Teknologi, T., & Indonesia, N. (2024). Analisis Curah Hujan dan Klasifikasi Tipe Iklim Menggunakan Metode Schmidt-Ferguson (Studi Kasus: Danau Tempe). *Jurnal Ilmu Lingkungan Tropika*, 2(2), 12–21.
- [11] Vindiyatus, L., Wahyuningsih, S., & Hayati, M. N. (2024). Pemilihan Parameter Optimum Exponential Smoothing dengan Golden Section untuk Meramalkan Curah Hujan di Kabupaten Kutai Timur. *Eksponensial*, 15(2), 81–89. <https://doi.org/10.30872/eksponensial.v1i2.1269>
- [12] Walida, N., Wahyuningsih, S., & Amijaya, F. (2021). Pemilihan Parameter Optimum Menggunakan Exponential Smoothing dengan Metode Golden Section untuk Peramalan Jumlah Titik Panas di Kalimantan Timur. *Jambura Journal of Probability and Statistics*, 2(2), 75–85. <https://doi.org/10.34312/jips.v2i2.10416>
- [13] Wibowo, A. (2024). Pemetaan Distribusi Curah Hujan Menggunakan Data CHIRPS Periode 2013–2023 untuk Evaluasi Zonasi Hutan di Provinsi Banten. *Jurnal Riset Geografi Tropika*, 25(2), 293–308.