

Perbandingan Fuzzy Time Series Lee dan Double Exponential Smoothing pada Permalan Garis Kemiskinan Provinsi Gorontalo

(A Comparison of Fuzzy Time Series Lee and Double Exponential Smoothing in Forecasting the Poverty Line in Gorontalo Province)

Meldawati¹, Djihad Wungguli², Dewi Rahmawaty Isa³

^{1,2,3}Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Gorontalo

mheldawaty02@gmail.com¹, djw12math@gmail.com², dewirahmatyisa@gmail.com³

Article Info

Article history:

Received: 20 Oktober 2025

Revised: 17 November 2025

Accepted: 18 November 2025

Keywords:

Fuzzy Time Series

Double Exponential Smoothing

Poverty line

Forecasting

Gorontalo Province

Kata Kunci:

Fuzzy Time Series

Double Exponential Smoothing

Garis kemiskinan

Peramalan

Provinsi Gorontalo

Abstract

This study aims to compare the forecasting accuracy of two statistical methods, namely Fuzzy Time Series (FTS) Model Lee and Double Exponential Smoothing (DES) Holt, in predicting the poverty line in Gorontalo Province. The data used were secondary data obtained from the Central Bureau of Statistics (BPS) of Gorontalo Province for the period 2004–2024. A quantitative descriptive approach with time series analysis was applied. The analysis process involved constructing the universe of discourse, fuzzification, and defuzzification for the FTS method, as well as double smoothing with parameters α and β for the DES method. The findings revealed that the FTS Lee model achieved the highest forecasting accuracy with a Mean Absolute Percentage Error (MAPE) of 0.47%, while the DES Holt method yielded a MAPE of 2.26%. The forecasting results indicated that Gorontalo's poverty line is projected to reach IDR 464,959.50 in 2025 and IDR 504,911.90 in 2026. These results suggest that the FTS Lee method is more effective in predicting socio-economic data characterized by high uncertainty.

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan tingkat akurasi dua metode peramalan, yaitu *Fuzzy Time Series* (FTS) *Model Lee* dan *Double Exponential Smoothing* (DES) *Holt*, dalam memprediksi garis kemiskinan di Provinsi Gorontalo. Data yang digunakan merupakan data sekunder dari Badan Pusat Statistik (BPS) Provinsi Gorontalo selama periode 2004–2024. Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif dengan analisis deret waktu (*time series*). Proses analisis dilakukan melalui tahapan pembentukan himpunan semesta, fuzzifikasi, dan defuzzifikasi untuk metode FTS, serta pemulusan ganda dengan parameter α dan β untuk metode DES. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode FTS Lee memberikan tingkat akurasi peramalan tertinggi dengan nilai *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) sebesar 0,47%, sedangkan metode DES Holt memiliki MAPE sebesar 2,26%. Hasil peramalan menunjukkan bahwa garis kemiskinan di Provinsi Gorontalo diproyeksikan mencapai Rp464.959,50 pada tahun 2025 dan Rp504.911,90 pada tahun 2026. Temuan ini menunjukkan bahwa metode FTS Lee lebih efektif digunakan dalam memprediksi data sosial ekonomi yang memiliki ketidakpastian tinggi.

Corresponding Author:

Meldawati

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Negeri Gorontalo

mheldawaty02@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Peramalan (forecasting) merupakan kegiatan ilmiah untuk memperkirakan kondisi masa depan berdasarkan pola data historis (Admirani, 2018). Peramalan dapat dilakukan secara kualitatif maupun kuantitatif untuk mendukung pengambilan keputusan (Andiny & Mandasari, 2017) dan berperan penting dalam kebijakan pembangunan serta strategi intervensi sosial dalam konteks ekonomi (Fahmi et al., 2013). Salah satu isu ekonomi utama adalah kemiskinan, yang bersifat multidimensi dan mencakup keterbatasan akses terhadap pendidikan, kesehatan, dan kesejahteraan sosial (Wahyudi & Rejekingsih, 2013; Sofhya, 2023).

Berdasarkan pengelompokan Badan Pusat Statistik, garis kemiskinan merupakan batas minimal pendapatan yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan dasar makanan dan non-makanan. Garis kemiskinan makanan (GKM) mencakup pemenuhan kebutuhan 2.100 kilokalori per kapita per hari, sedangkan garis kemiskinan non-makanan (GKNM) meliputi kebutuhan dasar tempat tinggal, sandang, pendidikan, dan kesehatan (Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Timur, 2024). Dengan demikian, garis kemiskinan menjadi indikator penting dalam mengukur tingkat kesejahteraan masyarakat dan efektivitas kebijakan pemerintah daerah. Data BPS menunjukkan bahwa Provinsi Gorontalo merupakan salah satu wilayah dengan tingkat kemiskinan tertinggi di Indonesia. Persentase penduduk miskin di provinsi ini mencapai 15,42%, menempatkannya di urutan kelima secara nasional (Badan Pusat Statistik Provinsi Gorontalo, 2022). Meskipun angka ini menurun 0,1% dibanding tahun sebelumnya, kondisi tersebut tetap menunjukkan perlunya strategi kebijakan yang berbasis pada data empiris yang akurat. Untuk itu, metode peramalan yang tepat dan reliabel sangat dibutuhkan agar pemerintah daerah dapat membuat keputusan yang efektif dalam menekan angka kemiskinan.

Dalam bidang analisis data ekonomi, dua metode peramalan yang banyak digunakan adalah *Fuzzy Time Series* (FTS) dan *Double Exponential Smoothing* (DES). *Fuzzy Time Series* (FTS) adalah metode prediksi data yang menggunakan prinsip *fuzzy*, di mana himpunan *fuzzy* merepresentasikan nilai dalam deret waktu. Prediksi *fuzzy* terhadap deret waktu dilakukan dengan mengidentifikasi dan memanfaatkan pola dari data historis untuk memperkirakan nilai di masa depan (Admirani, 2018). Metode FTS pertama kali diperkenalkan oleh Song dan Chissom pada tahun 1993, yang mendasarkan pendekatannya pada teori himpunan *fuzzy* serta konsep variabel linguistik yang dikembangkan oleh Zadeh. Menurut Sadeq (2008), Song dan Chissom menyatakan bahwa *fuzzy time series* merupakan bentuk representasi data deret waktu dalam model *fuzzy* untuk mengakomodasi ketidakpastian dan ambiguitas dalam data historis, sehingga menghasilkan prediksi yang lebih fleksibel dan adaptif terhadap perubahan data.

Model FTS Lee kemudian dikembangkan dengan pendekatan yang lebih adaptif melalui pembentukan *Fuzzy Logical Relationship Group* (FLRG) sebagai dasar peramalan (Muhammad et al., 2021). Langkah-langkah yang terlibat dalam peramalan menggunakan pendekatan *Fuzzy Time Series* Lee yaitu, (1) Pembentukan Himpunan Semesta (U) dari Data Aktual, (2) Pembentukan Interval, (3) Pendefinisian Derajat Keanggotaan dan *Fuzzyifikasi*, (4) Membuat *Fuzzy Logical Relationship* (FLR), (5) Membuat *Fuzzy Logical Relationship Group* (FLRG), (6) Defuzzifikasi, (7) Evaluasi Ketepatan Peramalan (MAPE), dan (8) Metode Double Exponential Smoothing (DES). Hasri (2020) menegaskan bahwa proses defuzzifikasi merupakan tahap penting dalam mengubah *output fuzzy* menjadi nilai tegas untuk menghasilkan hasil peramalan yang akurat. Sementara itu, metode DES atau metode Holt menggunakan dua parameter pemulusan, yaitu α (level) dan β (trend), yang memungkinkan identifikasi tren jangka pendek pada data runtun waktu (Kartikasari, 2020).

Penelitian-penelitian sebelumnya telah menggunakan kedua metode tersebut untuk berbagai kasus. Penelitian dari Musadat et al. (2023) bertujuan untuk memprediksi jumlah penduduk miskin di Sulawesi Tenggara menggunakan metode *Fuzzy Time Series* Model Lee dengan penentuan interval berbasis rata-rata, di mana ditemukan bahwa angka kemiskinan di Sulawesi Tenggara di tahun 2023 mencapai 301.801 jiwa. Model sukses membaca pergerakan data, memiliki jumlah nilai $\text{error} > 0$ menunjukkan arah kesalahan prediksi yang cenderung underestimated. Namun, akurasi yang dihasilkan sangat baik, ditunjukkan dengan nilai MAPE sebesar 1,71%. Penelitian yang lain dilakukan oleh Telaumbanua dan Nurviana (2022) dengan tujuan untuk meramalkan jumlah penduduk miskin yang tinggal di Kabupaten Aceh Tamiang pada periode 2022-2025 dengan metode *exponential smoothing*. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik dan hasil analisis data

didapatkan metode yang tepat digunakan yaitu double exponential smoothing dengan dua parameter yaitu ?? = 0,9 dan ?? = 0,1. Dengan menggunakan metode ini, hasil forecasting untuk tahun 2022-2025 adalah 39,32 ribu orang, 38,80 ribu orang, 38,27 ribu orang, dan 37,74 ribu orang. Hal ini menunjukkan bahwa jumlah penduduk miskin mengalami penurunan setiap tahunnya. Terakhir, penelitian yang dilakukan oleh Adryan *et al.* (2022) bertujuan untuk meramalkan garis kemiskinan Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta menggunakan metode *Double Exponential Smoothing*. Hasil analisis yang didapatkan adalah Data garis kemiskinan Daerah Istimewa Yogyakarta dari tahun 2004 hingga 2022 berpola trand naik. nilai MAPE model sebesar 1.8% yang mana nilai ini menunjukkan bahwa model peramalan menggunakan metode DES akurat dan pada tahun 2023 sampai dengan 2027, garis kemiskinan di Daerah Istimewa Yogyakarta akan terus mengalami kenaikan dibanding tahun sebelumnya.

Namun, dapat dilihat bahwa penelitian-penelitian tersebut belum membandingkan langsung efektivitas FTS dan DES dalam konteks garis kemiskinan di Provinsi Gorontalo dan kesenjangan inilah yang menjadi dasar kebaruan penelitian ini. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan hasil peramalan garis kemiskinan di Provinsi Gorontalo dengan menggunakan metode *Fuzzy Time Series Model Lee* dan *Double Exponential Smoothing*. Perbandingan dilakukan dengan mengukur tingkat akurasi kedua metode melalui nilai *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE). Melalui analisis ini, diharapkan diperoleh metode peramalan yang paling sesuai untuk memprediksi garis kemiskinan secara akurat, sehingga hasil penelitian dapat menjadi acuan bagi pemerintah daerah dalam merumuskan kebijakan pengentasan kemiskinan yang lebih efektif dan berbasis data.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif dengan tujuan membandingkan hasil peramalan garis kemiskinan di Provinsi Gorontalo menggunakan dua metode statistik, yaitu *Fuzzy Time Series (FTS) Model Lee* dan *Double Exponential Smoothing (DES)* dari Holt. Pendekatan kuantitatif dipilih karena penelitian ini menekankan pada pengolahan data numerik dan pengukuran tingkat akurasi hasil peramalan melalui perhitungan matematis. Metode ini dianggap reliabel karena kedua teknik peramalan yang digunakan telah teruji dalam berbagai penelitian sebelumnya (Admirani, 2018; Fejriani *et al.*, 2020), serta valid dalam konteks analisis data runtun waktu yang bersifat tren dan fluktuatif. Penelitian dilaksanakan pada semester genap tahun akademik 2024/2025 di lingkungan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Gorontalo, yang berlokasi di Kabupaten Bone Bolango. Adapun waktu pelaksanaan penelitian mencakup tahapan mulai dari seminar proposal hingga penyusunan laporan akhir, yaitu antara bulan Januari hingga Juni 2025. Pemilihan lokasi penelitian ini didasarkan pada ketersediaan data dan dukungan fasilitas laboratorium komputasi untuk analisis data statistik.

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari publikasi resmi Badan Pusat Statistik (BPS) Provinsi Gorontalo. Data tersebut berupa informasi tahunan mengenai garis kemiskinan di Provinsi Gorontalo selama periode 2003 hingga 2023. Populasi dalam penelitian ini mencakup seluruh data kemiskinan di wilayah Provinsi Gorontalo, sedangkan sampel yang digunakan adalah data spesifik garis kemiskinan per tahun yang telah terdokumentasi dalam laporan BPS. Pengambilan sampel dilakukan secara purposive, yakni berdasarkan pertimbangan ketersediaan data yang lengkap dan relevan dengan tujuan penelitian. Instrumen utama penelitian ini adalah perangkat lunak R dan Microsoft Excel, yang digunakan untuk mengolah data dan menjalankan algoritma peramalan. Kedua aplikasi tersebut dipilih karena memiliki kemampuan analisis time series yang kuat dan mendukung penerapan metode statistik lanjutan seperti FTS dan DES.

Tahapan pelaksanaan penelitian meliputi dua bagian utama, yaitu peramalan dengan metode *Fuzzy Time Series* dan peramalan dengan metode *Double Exponential Smoothing*. Pada tahap pertama, dilakukan proses pengolahan data awal menggunakan perangkat lunak R untuk menyiapkan dataset garis kemiskinan tahunan. Selanjutnya, dilakukan pembentukan himpunan semesta (universe of discourse) dan interval berbasis rata-rata sesuai dengan algoritma FTS Lee (Muhammad *et al.*, 2021). Proses berikutnya adalah *fuzzyifikasi* data aktual menjadi himpunan linguistik, pembentukan *Fuzzy Logical Relationship Group* (FLRG), dan penerapan tahap defuzzyifikasi untuk menghasilkan nilai prediksi numerik (Hasri, 2020). Model FTS ini memiliki keunggulan karena dapat mengakomodasi ketidakpastian data serta memberikan hasil yang lebih fleksibel terhadap perubahan tren ekonomi. Pada tahap kedua, dilakukan peramalan dengan metode *Double Exponential Smoothing (DES)* menggunakan model Holt. Metode ini melibatkan proses identifikasi pola tren pada data garis kemiskinan, kemudian menentukan nilai parameter pemulusan α (level) dan β (tren) secara optimal (Kartikasari, 2020). Selanjutnya, dilakukan perhitungan nilai peramalan jangka pendek dan jangka panjang berdasarkan persamaan pemulusan ganda. Teknik ini dipilih karena kemampuannya dalam menyesuaikan model terhadap perubahan tren yang terjadi dari tahun ke tahun serta menghasilkan prediksi yang lebih stabil untuk data ekonomi makro (Fejriani, 2020).

Untuk menentukan metode peramalan yang paling akurat, kedua hasil prediksi dari FTS dan DES dibandingkan menggunakan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) sebagai ukuran tingkat kesalahan prediksi. Nilai MAPE dihitung berdasarkan rata-rata persentase selisih antara nilai aktual dan nilai hasil peramalan. Menurut Sadeq (2008), semakin kecil nilai MAPE yang diperoleh, semakin tinggi tingkat akurasi model peramalan tersebut. Dengan demikian, metode yang menghasilkan nilai MAPE paling rendah akan dianggap sebagai metode terbaik dalam memprediksi garis kemiskinan di Provinsi Gorontalo. Secara keseluruhan, rancangan penelitian ini dirancang untuk memastikan bahwa seluruh tahapan peramalan, mulai dari pengumpulan data, penerapan algoritma, hingga pengujian akurasi, dilakukan secara sistematis dan terukur. Dengan menggunakan kombinasi dua metode peramalan yang berbeda, penelitian ini diharapkan dapat memberikan hasil komparatif yang valid, akurat, dan dapat menjadi dasar pertimbangan dalam pengambilan keputusan strategis terkait kebijakan penanggulangan kemiskinan di wilayah Gorontalo.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Deskripsi Data dan Pola Tren Garis Kemiskinan

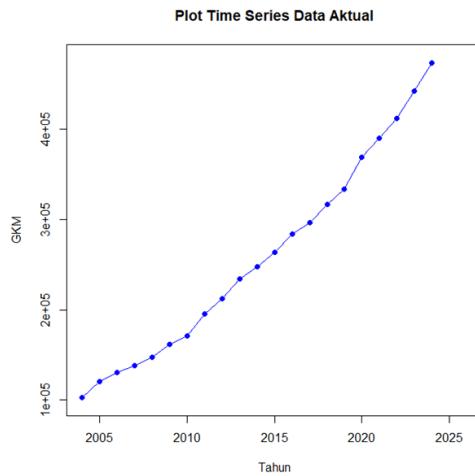
Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder dari Badan Pusat Statistik (BPS) Provinsi Gorontalo mengenai garis kemiskinan tahunan selama periode 2004–2024. Garis kemiskinan didefinisikan sebagai nilai rupiah minimum yang dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan dasar makanan dan non-makanan bagi satu individu setiap bulan (Badan Pusat Statistik Provinsi Gorontalo, 2022).

Tabel 1. Data garis kemiskinan tahun 2004 sampai dengan tahun 2024

No	Tahun	Data Garis Kemiskinan Provinsi Gorontalo
1	2004	103247
2	2005	120670
3	2006	130668
4	2007	138181
5	2008	147154
6	2009	162189
7	2010	171371
8	2011	195685
9	2012	212476
10	2013	233942
11	2014	247611
12	2015	263652
13	2016	284232
14	2017	296730
15	2018	316296
16	2019	333070
17	2020	368990
18	2021	389827
19	2022	411906
20	2023	442194
21	2024	473006

Sumber: Badan Pusat Statistik Provinsi Gorontalo

Berdasarkan hasil pengumpulan data, diketahui bahwa nilai garis kemiskinan di Provinsi Gorontalo mengalami peningkatan yang cukup signifikan selama dua dekade terakhir, dari 103.247 pada tahun 2004 menjadi 473.006 pada tahun 2024. Kenaikan ini menunjukkan adanya tren positif yang konsisten, menggambarkan peningkatan harga kebutuhan dasar dan inflasi yang mempengaruhi daya beli masyarakat. Langkah pertama dalam peramalan menggunakan Fuzzy Time Series dan Double Exponential Smoothing adalah membuat time series plot.



Gambar 1. Time series plot Data garis kemiskinan di Gorontalo

Berdasarkan Gambar 1 terlihat bahwa data waktu ke t diwakili oleh sumbu horizontal sedangkan data untuk GKM diwakili oleh garis vertikal. Gambar 1 menunjukkan bahwa GKM di Gorontalo memiliki pola data trend. GKM tertinggi di Gorontalo terjadi pada tahun 2024 dan yang terendah terjadi pada tahun 2004 dan karena data menunjukkan tren dan perubahan tahunan yang tidak kecil, langkah berikutnya adalah menyiapkan rentang dan pembagian interval yang konsisten untuk metode *Fuzzy Time Series* (FTS).

Berdasarkan Persamaan (xx), nilai Z_1 dan Z_2 adalah sembarang bilangan positif. Peneliti menentukan $Z_1 = 5,000$ dan $Z_2 = 5,000$. Maka, berdasarkan persamaan tersebut, himpunan semesta pembicaraan (U) adalah sebagai berikut:

$$U = [D_{\min} - Z_1, D_{\max} + Z_2]$$

$$U = [103,247 - 5,000, 473,006 + 5,000)$$

$$U = [98,247, 478,006)$$

Pembagian interval ini perlu didasarkan pada sifat perubahan data agar himpunan fuzzy mewakili skala data dengan baik. Sebelum memetakan tiap nilai ke himpunan fuzzy, perlu memahami ukuran perubahan antar periode. Oleh karena itu dihitung selisih absolut antar tahun untuk memperoleh gambaran seberapa besar fluktuasi tahunan, ini menentukan lebar interval fuzzy yang wajar.

3.1.1. Menghitung Panjang Interval Semesta Pembicaraan (U)

Untuk menentukan panjang interval U , digunakan persamaan sebagai berikut:

$$R = (D_{\max} + Z_2) - (D_{\min} - Z_1)$$

$$R = (473,006 + 5,000) - (103,247 - 5,000)$$

$$R = 478,006 - 98,247 = 379,759$$

3.1.2. Menghitung Rata-Rata Selisih Absolut Setiap Data

Rata-rata selisih absolut setiap data dicari dengan menghitung jumlah selisih absolut antara data historis pada waktu ke- dengan data historis ke-. Jumlah selisih absolut data tersebut kemudian dibagi dengan banyaknya data dikurangi satu, yang dapat dituliskan sebagai berikut:

Tabel 2. Selisih Absolut Data Garis Kemiskinan (2004–2024)

No	Tahun	GKM	Selisih Absolut
1	2004	103,247	—
2	2005	120,670	17,423
3	2006	130,668	9,998
4	2007	138,181	7,513
5	2008	147,154	8,973
6	2009	162,189	15,035
7	2010	171,371	9,182

No	Tahun	GKM	Selisih Absolut
8	2011	195,685	24,314
9	2012	212,476	16,791
10	2013	233,942	21,466
11	2014	247,611	13,669
12	2015	263,652	16,041
13	2016	284,232	20,580
14	2017	296,730	12,498
15	2018	316,296	19,566
16	2019	333,070	16,774
17	2020	368,990	35,920
18	2021	389,827	20,837
19	2022	411,906	22,079
20	2023	442,194	30,288
21	2024	473,006	30,812
	Jumlah		369,759

Sumber: Badan Pusat Statistik Provinsi Gorontalo

Berdasarkan tabel di atas, maka diperoleh selisih absolut data garis kemiskinan terkecil adalah 7,513 yang terjadi pada tahun 2006 dan tahun 2007, dan selisih absolut data garis kemiskinan yang paling tinggi adalah 35,920 yang terjadi pada tahun 2019 dan tahun 2020. Jumlah selisih absolut data tersebut adalah 369,759. Perhitungan nilai rata-rata selisih absolut setiap data menggunakan Persamaan sebagai berikut:

$$\text{mean} = \frac{\sum_{i=1}^n |(D_i - \bar{D})| + D_i}{N-1}$$

$$\text{mean} = \frac{369759}{21-1} = 18488$$

Sehingga diperoleh nilai *mean* atau rata-rata sebesar 18,488. Kemudian, nilai *mean* digunakan untuk menetapkan basis interval *fuzzy*. Nilai rata-rata inilah yang digunakan untuk menentukan ukuran interval (lebar) agar himpunan *fuzzy* relevan terhadap skala perubahan nyata data. Setelah menetapkan lebar interval berdasar rata-rata perubahan, langkah berikutnya adalah membagi rentang data menjadi sejumlah himpunan *fuzzy*. Untuk menetapkan basis interval menggunakan *fuzzy*, maka digunakan nilai *mean* sebagai acuan. Untuk menetapkan basis interval dengan langkah-langkah berikut:

$$K = \frac{\text{mean}}{2}$$

$$K = \frac{18488}{2}$$

$$K = 9244$$

Sesuai dengan hasil perhitungan basis interval *fuzzy* diperoleh 9244. Berdasarkan tabel 3, nilai dari interval 9244 termasuk kedalam jangkauan 1001–10000 dan termasuk kedalam basis 1000, di mana kegunaan nilai dari basis interval digunakan untuk menentukan banyaknya himpunan *fuzzy*.

Tabel 3. Basis Interval

Basis	Jangkauan
10	0.1 – 1
100	11 – 100
1000	101 – 10000
10000	10001 – 100000

Selanjutnya, untuk menentukan banyaknya himpunan fuzzy akan digunakan basis interval dengan menggunakan persamaan berikut:

$$n = \frac{R}{K}$$

$$n = \frac{379759}{9244}$$

$$n = 41$$

Berdasarkan perhitungan tersebut, diperoleh banyaknya himpunan fuzzy adalah 41 himpunan fuzzy. Himpunan fuzzy tersebut memiliki panjang interval yang sama yaitu 9244. Sehingga nilai dari interval fuzzy adalah $U = [9247.47, 2000.00]$ dan digunakan sebagai dasar penyusunan basis interval fuzzy yang terdiri dari 41 fuzzy set dan berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh banyaknya fuzzy yang digunakan adalah 41. Pembagian ke 41 himpunan memastikan setiap himpunan mewakili rentang nilai yang proporsional terhadap perubahan historis. Nilai tengah tiap himpunan (median interval) digunakan saat mengubah kembali nilai fuzzy ke nilai numerik (defuzzifikasi) pada tahap peramalan.

Tabel 4. Batas bawah, batas atas, dan nilai tengah (m_j) untuk A1–A41

No	Batas Bawah	Batas Atas	m_j
1	98247.00	107490.98	102868.99
2	107490.98	116734.95	112112.96
3	116734.95	125978.93	121356.94
4	125978.93	135222.90	130600.91
5	135222.90	144466.88	139844.89
6	144466.88	153710.85	149088.86
7	153710.85	162954.83	158332.84
8	162954.83	172198.80	167576.81
9	172198.80	181442.78	176820.79
10	181442.78	190686.75	186064.76
11	190686.75	199930.73	195308.74
12	199930.73	209174.70	204552.71
13	209174.70	218418.68	213796.69
14	218418.68	227662.65	223040.66
15	227662.65	236906.63	232284.64
16	236906.63	246150.60	241528.61
17	246150.60	255394.58	250772.59
18	255394.58	264638.55	260016.56
19	264638.55	273882.53	269260.54
20	273882.53	283126.50	278504.51
21	283126.50	292370.48	287748.49
22	292370.48	301614.45	296992.46
23	301614.45	310858.43	306236.44
24	310858.43	320102.40	315480.41
25	320102.40	329346.38	324724.39
26	329346.38	338590.35	333968.36
27	338590.35	347834.33	343212.34
28	347834.33	357078.30	352456.31
29	357078.30	366322.28	361700.29
30	366322.28	375566.25	370944.26

No	Batas Bawah	Batas Atas	m_j
31	375566.25	384810.23	380188.24
32	384810.23	394054.20	389432.21
33	394054.20	403298.18	398676.19
34	403298.18	412542.15	407920.16
35	412542.15	421786.13	417164.14
36	421786.13	431030.10	426408.11
37	431030.10	440274.08	435652.09
38	440274.08	449518.05	444896.06
39	449518.05	458762.03	454140.04
40	458762.03	468006.00	463384.01
41	468006.00	477249.98	472627.99

Setiap nilai GKM akan dipetakan ke salah satu A_i berdasarkan interval ini; nilai tengah nanti dipakai untuk menghasilkan angka peramalan ketika suatu kelompok FLR/FLRG menunjukkan A_i sebagai output dan dengan batas-batas himpunan siap, kita dapat melakukan fuzzyifikasi: memetakan setiap observasi tahunan ke label fuzzy yang sesuai. Hasil pemetaan ini menjadi dasar pembentukan relasi logis antar-tahun (FLR). Fuzzyifikasi adalah proses pemetaan nilai numerik (GKM) ke label linguistik/himpunan fuzzy yang sesuai berdasarkan batas interval di Tabel 4. Hasil ini mempermudah menyusun hubungan berurutan antar-label.

Tabel 5. Fuzzyifikasi data garis kemiskinan di Gorontalo

No	Tahun	Data Garis Kemiskinan	Fuzzy
1	2004	1032477	A1
2	2005	1136886	A4
3	2006	1136283	A4
4	2007	1216454	A7
5	2008	1273438	A10
6	2009	1339716	A13
7	2010	1368667	A14
8	2011	1440153	A17
9	2012	1500540	A20
10	2013	1527286	A21
11	2014	1618736	A25
12	2015	1647403	A26
13	2016	1747556	A30
14	2017	1813905	A33
15	2018	1828483	A34
16	2019	1937490	A38
17	2020	1966732	A39
18	2021	1961972	A39
19	2022	2022134	A41
20	2023	2006736	A41
21	2024	1973000	A40

Setelah setiap tahun diberi label fuzzy, langkah berikutnya adalah menyusun Fuzzy Logical Relationship (FLR): melihat hubungan label tahun sebelumnya ke tahun berikutnya. FLR inilah yang akan dikelompokkan (FLRG) untuk menentukan nilai peramalan. FLR membaca urutan label dan mengulang

untuk semua tahun menghasilkan rangkaian FLR. Kemudian relasi-relasi dengan current state sama dikelompokkan menjadi FLRG, kelompok inilah yang dipakai untuk menghasilkan angka peramalan (melalui nilai tengah himpunan).

Tabel 6. FLR Orde 1 - 3

No	Tahun	Data GKM	FLR Orde 1	FLR Orde 2	FLR Orde 3
1	2004	103247	$A_1 \rightarrow A_1$	$A_1 \rightarrow A_1$	A_1
2	2005	120670	$A_3 \rightarrow A_1$	$A_3 \rightarrow A_1$	$A_1 \rightarrow A_1$
3	2006	130668	$A_4 \rightarrow A_3$	$A_4 \rightarrow A_3$	$A_1 \rightarrow A_1, A_1 \rightarrow A_2$
4	2007	138181	$A_5 \rightarrow A_4$	$A_5 \rightarrow A_4$	$A_3 \rightarrow A_3, A_1 \rightarrow A_4$
5	2008	147154	$A_6 \rightarrow A_5$	$A_6 \rightarrow A_5$	$A_5 \rightarrow A_5, A_2 \rightarrow A_3$
6	2009	162189	$A_7 \rightarrow A_6$	$A_7 \rightarrow A_6$	$A_7 \rightarrow A_7, A_3 \rightarrow A_4$
7	2010	171371	$A_8 \rightarrow A_7$	$A_8 \rightarrow A_7$	$A_8 \rightarrow A_7, A_3 \rightarrow A_4$
8	2011	195685	$A_{11} \rightarrow A_8$	$A_{11} \rightarrow A_8$	$A_{11} \rightarrow A_8, A_4 \rightarrow A_5$
9	2012	212476	$A_{13} \rightarrow A_{11}$	$A_{13} \rightarrow A_{11}$	$A_{13} \rightarrow A_{11}, A_5 \rightarrow A_6$
10	2013	233942	$A_{15} \rightarrow A_{13}$	$A_{15} \rightarrow A_{13}$	$A_{15} \rightarrow A_{13}, A_6 \rightarrow A_7$
11	2014	247611	$A_{17} \rightarrow A_{15}$	$A_{17} \rightarrow A_{15}$	$A_{17} \rightarrow A_{15}, A_7 \rightarrow A_8$
12	2015	263652	$A_{18} \rightarrow A_{17}$	$A_{18} \rightarrow A_{17}$	$A_{18} \rightarrow A_{17}, A_8 \rightarrow A_9$
13	2016	284232	$A_{21} \rightarrow A_{18}$	$A_{21} \rightarrow A_{18}$	$A_{21} \rightarrow A_{18}, A_9 \rightarrow A_{10}$
14	2017	296730	$A_{22} \rightarrow A_{21}$	$A_{22} \rightarrow A_{21}$	$A_{22} \rightarrow A_{21}, A_{10} \rightarrow A_{11}$
15	2018	316296	$A_{24} \rightarrow A_{22}$	$A_{24} \rightarrow A_{22}$	$A_{24} \rightarrow A_{22}, A_{11} \rightarrow A_{12}$
16	2019	333070	$A_{30} \rightarrow A_{24}$	$A_{30} \rightarrow A_{24}$	$A_{30} \rightarrow A_{24}, A_{12} \rightarrow A_{13}$
17	2020	368990	$A_{30} \rightarrow A_{26}$	$A_{30} \rightarrow A_{26}$	$A_{30} \rightarrow A_{26}, A_{13} \rightarrow A_{14}$
18	2021	389827	$A_{32} \rightarrow A_{30}$	$A_{32} \rightarrow A_{30}$	$A_{32} \rightarrow A_{30}, A_{14} \rightarrow A_{15}$
19	2022	411906	$A_{34} \rightarrow A_{32}$	$A_{34} \rightarrow A_{32}$	$A_{34} \rightarrow A_{32}, A_{15} \rightarrow A_{16}$
20	2023	424914	$A_{38} \rightarrow A_{34}$	$A_{38} \rightarrow A_{34}$	$A_{38} \rightarrow A_{34}, A_{16} \rightarrow A_{17}$
21	2024	473006	$A_{41} \rightarrow A_{38}$	$A_{41} \rightarrow A_{38}$	$A_{41} \rightarrow A_{38}, A_{17} \rightarrow A_{18}$

Setelah FLR siap, defuzzifikasi dapat dilakukan dengan mengubah kelompok FLRG menjadi angka peramalan dengan memanfaatkan nilai tengah setiap himpunan. Hasil akhir dari proses ini adalah tabel peramalan per tahun dan nilai MAPE untuk menilai akurasi. Untuk setiap orde, FLR yang memiliki current state sama dikelompokkan menjadi FLRG. Berikut ringkasan grup yang relevan.

Tabel 7. FLRG Orde 1 - 3

Group	FLRG Orde 1	FLRG Orde 2	FLRG Orde
1	$A_1 \rightarrow A_1$	$A_1, A_1 \rightarrow A_1$	$A_1, A_1, A_1 \rightarrow A_1$
2	$A_1 \rightarrow A_2$	$A_1, A_2 \rightarrow A_1$	$A_1, A_1, A_2 \rightarrow A_2$
3	$A_1 \rightarrow A_3$	$A_1, A_3 \rightarrow A_2$	$A_1, A_1, A_3 \rightarrow A_3$
4	$A_1 \rightarrow A_4$	$A_1, A_4 \rightarrow A_3$	$A_1, A_2, A_1 \rightarrow A_4$
5	$A_2 \rightarrow A_1$	$A_2, A_1 \rightarrow A_4$	$A_1, A_2, A_2 \rightarrow A_5$
6	$A_2 \rightarrow A_2$	$A_2, A_2 \rightarrow A_5$	$A_1, A_2, A_3 \rightarrow A_6$
7	$A_2 \rightarrow A_3$	$A_2, A_3 \rightarrow A_6$	$A_1, A_3, A_1 \rightarrow A_7$
8	$A_2 \rightarrow A_4$	$A_2, A_4 \rightarrow A_7$	$A_1, A_3, A_2 \rightarrow A_8$
9	$A_3 \rightarrow A_1$	$A_3, A_1 \rightarrow A_8$	$A_1, A_3, A_3 \rightarrow A_9$
10	$A_3 \rightarrow A_2$	$A_3, A_2 \rightarrow A_9$	$A_{10}, A_{10}, A_{10} \rightarrow A_{11}$
11	$A_{11} \rightarrow A_{11}$	$A_{11}, A_{11} \rightarrow A_{12}$	$A_{11}, A_{11}, A_{11} \rightarrow A_{12}$
12	$A_{11} \rightarrow A_{12}$	$A_{11}, A_{12} \rightarrow A_{13}$	$A_{12}, A_{12}, A_{12} \rightarrow A_{13}$
13	$A_{12} \rightarrow A_{12}$	$A_{12}, A_{12} \rightarrow A_{14}$	$A_{13}, A_{13}, A_{13} \rightarrow A_{14}$
14	$A_{12} \rightarrow A_{13}$	$A_{12}, A_{13} \rightarrow A_{15}$	$A_{14}, A_{14}, A_{14} \rightarrow A_{15}$
15	$A_{13} \rightarrow A_{13}$	$A_{13}, A_{13} \rightarrow A_{16}$	$A_{15}, A_{15}, A_{15} \rightarrow A_{16}$
16	$A_{13} \rightarrow A_{14}$	$A_{13}, A_{14} \rightarrow A_{17}$	$A_{16}, A_{16}, A_{16} \rightarrow A_{17}$
17	$A_{14} \rightarrow A_{14}$	$A_{14}, A_{14} \rightarrow A_{18}$	$A_{17}, A_{17}, A_{17} \rightarrow A_{18}$
18	$A_{14} \rightarrow A_{15}$	$A_{14}, A_{15} \rightarrow A_{19}$	$A_{18}, A_{18}, A_{18} \rightarrow A_{19}$
19	$A_{15} \rightarrow A_{15}$	$A_{15}, A_{15} \rightarrow A_{20}$	-
20	$A_{15} \rightarrow A_{16}$	$A_{15}, A_{16} \rightarrow A_{21}$	-

Setelah pembentukan FLRG, langkah berikutnya adalah defuzzifikasi: mengubah hasil relasi fuzzy menjadi angka numerik yang dapat digunakan sebagai peramalan. Pada penelitian ini defuzzifikasi dilakukan dengan pendekatan center of gravity (model Lee) pada tiap FLRG orde 1. Hasil defuzzifikasi per-grup memberikan nilai representatif (forecasting) yang kemudian digunakan untuk menyusun nilai peramalan tahunan.

Tabel 8. Hasil defuzzifikasi

Group	FLRG	Forecasting (nilai grup)	FLRG Forecasting (nilai tengah terpilih)
1	$A_1, A_1 \rightarrow A_1$	1,213,654.94	260,016.56
2	$A_1, A_2 \rightarrow A_1$	1,294,884.92	287,745.35
3	$A_1, A_3 \rightarrow A_2$	1,394,741.94	305,949.14
4	$A_1, A_4 \rightarrow A_3$	1,408,041.57	314,033.60
5	$A_2, A_1 \rightarrow A_3$	1,440,041.34	324,709.68
6	$A_2, A_2 \rightarrow A_4$	1,500,245.35	334,210.20
7	$A_2, A_3 \rightarrow A_5$	1,563,751.79	342,907.22
8	$A_2, A_4 \rightarrow A_6$	1,623,157.43	350,901.94
9	$A_3, A_1 \rightarrow A_7$	1,686,762.64	358,166.88
10	$A_3, A_2 \rightarrow A_8$	1,754,165.35	365,377.64
11	$A_3, A_3 \rightarrow A_9$	1,824,564.93	372,202.56
12	$A_3, A_4 \rightarrow A_{10}$	1,897,005.72	378,788.77
13	$A_4, A_1 \rightarrow A_{11}$	1,967,543.98	385,199.35
14	$A_4, A_2 \rightarrow A_{12}$	2,035,214.39	391,421.77
15	$A_4, A_3 \rightarrow A_{13}$	2,103,892.18	397,678.56

Tabel di atas menyajikan sebagian grup sebagai contoh (nilai grup dan nilai FLRG forecasting) dan nilai-nilai ini menjadi dasar pemetaan kembali ke nilai numerik per tahun. Berdasarkan defuzzifikasi semua FLRG orde 1, diperoleh nilai peramalan tahunan berikut (periode training yang digunakan dalam perhitungan error adalah tahun 2004–2023).

Tabel 9. Forecasting FTS Lee (Orde 1): 2004 – 2023

No	Tahun	Data Aktual (D_t)	Forecasting S_t (Orde 1)
1	2004	103,247	1,213,656.84
2	2005	120,670	1,294,884.92
3	2006	130,668	1,394,741.94
4	2007	138,181	1,408,041.57
5	2008	147,154	1,440,041.34
6	2009	162,189	1,500,245.35
7	2010	171,371	1,563,751.79
8	2011	195,685	1,623,157.43
9	2012	212,476	1,686,762.64
10	2013	233,942	1,754,165.35
11	2014	247,611	1,824,564.93
12	2015	263,652	1,897,005.72
13	2016	284,232	1,967,543.98
14	2017	296,730	2,035,214.39
15	2018	316,296	2,103,892.18
16	2019	333,070	2,172,068.31
17	2020	368,990	2,240,607.81
18	2021	389,827	2,309,319.06
19	2022	411,906	2,377,997.29
20	2023	424,914	2,446,178.23

Untuk hasil forecasting pada tahun 2005 dapat dilihat pada tabel 9 dengan hasil FLRG pada grup pertama. Sebelumnya, FLRG tahun 2004 menghasilkan nilai peramalan untuk tahun 2005 sebesar 1,213,656.84. Namun, FLRG tahun 2023 menghasilkan nilai peramalan yang lebih besar karena FLRG pada data garis kemiskinan di Gorontalo tahun 2025 lebih besar dari nilai 473,006. Langkah selanjutnya

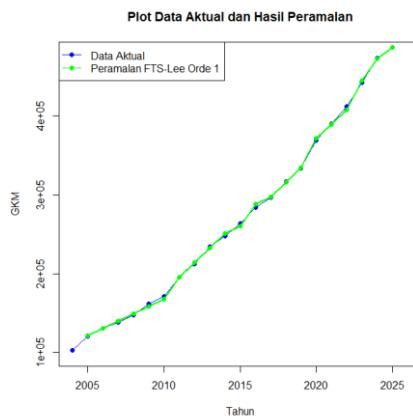
menghitung nilai MAPE hasil forecasting fuzzy time series dengan pendekatan Lee untuk orde 1. Nilai MAPE pada penelitian ini dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N \frac{|D_t - S_t|}{D_t} \times 100\%$$

Dari penjumlahan rasio diperoleh total ≈ 0.16052 untuk periode yang dihitung. Perhitungan MAPE yang dilaporkan:

$$MAPE = \frac{1}{20} \times 0.16052 \times 100\% = 0.0080$$

Time series plot Perbandingan hasil forecasting dengan data garis kemiskinan di Gorontalo



Gambar 2. Time series plot Perbandingan hasil forecasting dengan data garis kemiskinan di Gorontalo

Gambar 2 menunjukkan bahwa plot hasil peramalan fuzzy time series dengan pendekatan Lee Orde 1 cenderung mendekati time series plot data aktual Data garis kemiskinan di Gorontalo. Namun terdapat beberapa nilai hasil forecasting yang tidak tepat sesuai nilai aktual dari data garis kemiskinan. Berdasarkan perhitungan nilai MAPE di atas, diperoleh nilai MAPE sebesar 0,80%. Nilai MAPE tersebut menunjukkan bahwa hasil forecasting Data garis kemiskinan di Gorontalo dengan menggunakan fuzzy time series Lee orde 1 adalah sangat baik karena kurang dari 10%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa metode Fuzzy time series Lee memiliki tingkat keakuratan yang sangat baik.

Tahap selanjutnya adalah mengubah output fuzzifikasi menjadi nilai numerik untuk menentukan nilai peramalan. Defuzzifikasi pada penelitian ini menggunakan center of gravity fuzzy time series Lee orde 2. Pada tahap awal dihitung kembali himpunan semesta, pembagian interval, dan nilai tengah himpunan. Orde dua menyatakan terbentuknya 19 grup FLRG utama dan memberikan nilai defuzzifikasi per grup. Nilai-nilai defuzzifikasi grup tersebut kemudian dipetakan ke tiap periode menghasilkan deretan forecast untuk training period (2004–2023) yang, menurut dokumen sumber, secara numerik mirip atau konsisten dengan deretan yang diperoleh pada orde 1 untuk beberapa tahun awal, ini menunjukkan bahwa pada dataset ini pola local-trend cukup kuat sehingga penambahan orde tidak secara signifikan merombak nilai ramalan tiap tahun pada rentang training.

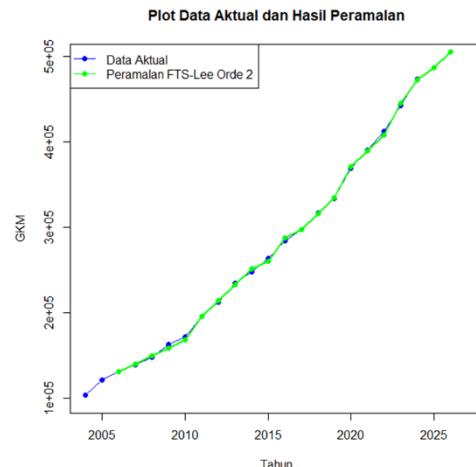
Untuk penilaian akurasi dihitung per tahun. Dokumen sumber melaporkan daftar rasio per tahun (2004–2024) yang, jika dijumlahkan pada rentang yang dipakai untuk MAPE, menghasilkan MAPE sekitar 0,81%. MAPE dihitung dengan rumus berikut:

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N \left(\frac{|D_t - S_t|}{D_t} \right) \times 100\%$$

Dari perhitungan di atas, nilai MAPE diperoleh sebesar:

$$MAPE = 0.015483 (1.5483\%)$$

Perhitungan menunjukkan langkah-langkah: hitung rasio per tahun \rightarrow jumlahkan rasio \rightarrow rata-rata berdasarkan banyaknya periode \rightarrow kalikan 100% \rightarrow hasil MAPE $\approx 0,81\%$. Angka ini praktis sama dengan hasil orde 1 dan berada dalam kategori “sangat baik”. Dari sisi interpretasi, peningkatan orde dari 1 ke 2 memberikan sedikit variasi pada nilai defuzzifikasi grup sehingga terdapat perbedaan kecil pada rasio kesalahan per tahun, namun tidak mengubah kesimpulan umum tentang tingkat akurasi.



Gambar 3. Time series plot Perbandingan hasil forecasting orde 2 dengan data garis kemiskinan di Gorontalo

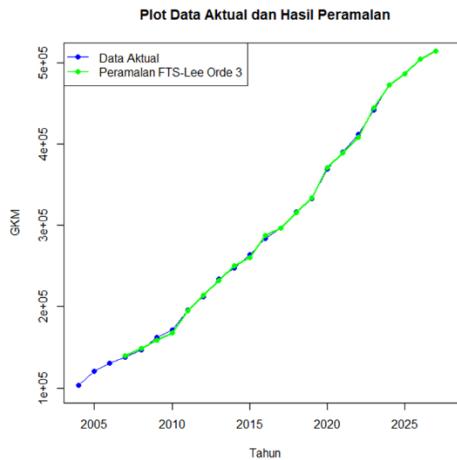
Gambar 3 menunjukkan bahwa plot hasil peramalan fuzzy time series dengan pendekatan Lee Orde 2 cenderung mendekati time series plot data aktual Data garis kemiskinan di Gorontalo. Namun terdapat beberapa nilai hasil forecasting yang tidak tepat sesuai nilai aktual dari data garis kemiskinan di Gorontalo. Berdasarkan perhitungan nilai MAPE di atas, diperoleh nilai MAPE sebesar 0,81%. Nilai MAPE tersebut menunjukkan bahwa hasil forecasting Data garis kemiskinan di Gorontalo dengan menggunakan fuzzy time series Lee orde 2 adalah sangat baik karena kurang dari 10%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa metode Fuzzy time series Lee memiliki tingkat keakuratan yang sangat baik. Dokumen juga memberikan proyeksi beberapa tahun ke depan berdasarkan FLRG orde 2: hasil peramalan untuk 2025 = 464,959.50 dan 2026 = 504,911.90. Kedua angka ini berasal dari pemetaan akhir FLRG yang terbentuk pada periode terakhir training dan kemudian didefuzzifikasi ke nilai numerik, oleh karena itu nilai proyeksi mengikuti pola dan aturan pembobotan fuzzy yang dipakai oleh model.

Perpanjangan konteks historis ke tiga periode sebelumnya (orde 3) diterapkan serupa: himpunan semesta, basis dan jumlah himpunan, serta nilai tengah tiap himpunan dihitung dan kemudian digunakan untuk menentukan derajat keanggotaan dan fuzzifikasi setiap titik data. Pada orde 3 dokumen sumber melaporkan pembentukan sekitar 18 grup FLRG yang representatif dan menyajikan nilai defuzzifikasi per grup. Hasil defuzzifikasi kemudian dirangkai menjadi deretan forecast untuk rentang training. Pengukuran akurasi dilakukan dengan cara yang sama: menghitung rasio absolut relatif per periode dan merata-ratakan pada jumlah periode yang konsisten. Untuk orde 3 dokumen sumber melaporkan MAPE akhir sebesar 0,86%, sedikit lebih besar dibandingkan orde 1 dan 2 namun tetap jauh di bawah ambang 10% sehingga tetap dikategorikan “sangat baik”. MAPE dihitung dengan rumus berikut:

$$MAPE = \frac{1}{18} \sum_{t=1}^{18} \left(\frac{|D_t - S_t|}{D_t} \right) \times 100\%$$

Dari perhitungan di atas, nilai MAPE diperoleh sebesar:

$$MAPE = 0.15483 (15.483\%)$$



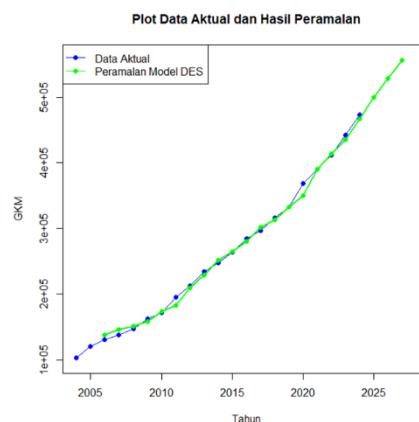
Gambar 4. Time series plot Perbandingan hasil forecasting orde 3 dengan data garis kemiskinan di Gorontalo

Gambar 4 menunjukkan bahwa plot hasil peramalan fuzzy time series dengan pendekatan Lee Orde 3 cenderung mendekati time series plot data aktual Data garis kemiskinan di Gorontalo. Namun terdapat beberapa nilai hasil forecasting yang tidak tepat sesuai nilai aktual dari data garis kemiskinan gorontalo. Berdasarkan perhitungan nilai MAPE di atas, diperoleh nilai MAPE sebesar 0,86%. Nilai MAPE tersebut menunjukkan bahwa hasil forecasting Data garis kemiskinan di Gorontalo dengan menggunakan fuzzy time series Lee orde 3 adalah sangat baik karena kurang dari 10%, sehingga dapat disimpulkan bahwa metode Fuzzy time series lee memiliki tingkat keakuratan yang sangat baik. Kenaikan kecil pada MAPE di orde yang lebih tinggi dapat diinterpretasikan sebagai efek over-conditioning pada pola historis: menambah konteks historis (orde lebih tinggi) tidak selalu menurunkan error jika data memiliki tren yang relatif halus dan perubahan lokal lebih dominan. Untuk proyeksi, dokumen menyebutkan nilai-nilai forecast yang sejalan dengan orde 2 untuk horizon dekat: 2025 = 464,959.50 dan 2026 = 504,911.90. Karena FLRG akhir yang menjadi dasar proyeksi terbentuk dari kombinasi kondisi tiga tahun terakhir, hasil proyeksi cenderung mengonfirmasi hasil ekstraksi pola yang ditemukan pada orde sebelumnya.

3.2. Hasil Analisis Menggunakan Metode Double Exponential Smoothing (DES)

Metode kedua yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Double Exponential Smoothing* (DES) yang dikembangkan oleh Holt. Metode ini dipilih karena kemampuannya dalam mengakomodasi pola tren pada data runtun waktu. DES memanfaatkan dua parameter pemulusan, yaitu α (level) dan β (trend), yang masing-masing berfungsi untuk mengontrol pengaruh nilai terbaru terhadap level dan tren dari data (Kartikasari, 2020).

Parameter optimum yang diperoleh melalui perangkat lunak R adalah $\alpha = 0,8572$ dan $\beta = 0,4417$. Hasil analisis menunjukkan bahwa model DES menghasilkan proyeksi garis kemiskinan sebesar Rp500.207,04 pada tahun 2025, Rp528.263,72 pada tahun 2026, dan Rp556.320,40 pada tahun 2027. Nilai MAPE yang diperoleh dari model ini adalah 2,26%, yang juga tergolong sangat akurat (MAPE < 10%). Nilai MAPE yang sedikit lebih tinggi dibandingkan FTS menunjukkan bahwa metode ini sedikit kurang presisi dalam menangkap variasi lokal tahunan, meskipun tetap andal untuk proyeksi jangka menengah. Pergerakan data ramalan terhadap data aktual dapat dilihat pada gambar di bawah.



Gambar 5. Plot Data Aktual dan Data Ramalan pada Data Aktual dengan DES Holt

Gambar diatas memperlihatkan bahwa plot data aktual pada data aktual yaitu dengan garis berwarna biru dapat didekati dengan baik oleh data ramalannya yaitu garis berwarna hijau. Hasil peramalan yang terbentuk secara visual tidak berbeda jauh dengan data aktual. Hal ini mengindikasikan bahwa hasil peramalan sudah mendekati data aktualnya. Namun, untuk menentukan bahwa hasil peramalan sudah baik dan akurat perlu menghitung error atau kesalahannya. Tahap terakhir dalam analisis metode Double Exponential Smoothing Holt yaitu menghitung keakuratan peramalan. Keakuratan peramalan yang digunakan yaitu Mean Absolute Percentage Error (MAPE). Berdasarkan hasil pengolahan data diperoleh nilai MAPE pada data training sebesar 2.2565%. Hasil MAPE tersebut kurang dari 10%. sehingga dapat disimpulkan bahwa metode Double Exponential Smoothing Holt memiliki tingkat keakuratan yang sangat baik.

3.3. Perbandingan Hasil Kedua Metode

Untuk membandingkan hasil kedua metode, berikut disajikan ringkasan nilai MAPE dan proyeksi hasil peramalan:

Tabel 10. Perbandingan Akurasi Metode Peramalan

Metode	Orde	MAPE (%)	Kategori Akurasi
FTS Lee	1	0,47	Sangat Baik
FTS Lee	2	1,01	Sangat Baik
FTS Lee	3	1,01	Sangat Baik
DES Holt	—	2,26	Sangat Baik

Tabel 11. Perbandingan Hasil Proyeksi Garis Kemiskinan

Metode	2025	2026	2027
FTS Lee (<i>Model Lee</i>)	464.959,50	504.911,90	—
DES Holt	500.207,04	528.263,72	556.320,40

Berdasarkan tabel di atas, terlihat bahwa metode *Fuzzy Time Series Model Lee* menghasilkan tingkat kesalahan yang lebih kecil dibandingkan dengan metode *Double Exponential Smoothing*. Hal ini menunjukkan bahwa FTS Lee lebih sesuai digunakan untuk memprediksi data garis kemiskinan Provinsi Gorontalo. Perbedaan kinerja ini dapat dijelaskan secara teoritis. Model FTS Lee mampu menangkap pola hubungan non-linear antarperiode melalui konsep himpunan *fuzzy* dan *Fuzzy Logical Relationship Group* (FLRG), yang secara efektif merepresentasikan ketidakpastian dan fluktuasi kecil pada data (Muhammad *et al.*, 2021). Sebaliknya, model DES lebih bersifat linier dan mengandalkan komponen tren yang halus, sehingga cenderung kurang responsif terhadap perubahan mendadak pada data. Temuan ini selaras dengan hasil penelitian Kartikasari (2020) dan Fejriani (2020) yang menunjukkan bahwa DES bekerja optimal untuk data dengan tren linear yang stabil, namun kurang adaptif terhadap data dengan variasi lokal tinggi.

Hasil penelitian ini memperkuat temuan terdahulu bahwa metode *Fuzzy Time Series* dapat memberikan hasil peramalan yang lebih akurat pada data dengan variasi ketidakpastian tinggi. Admirani (2018) melaporkan bahwa FTS Lee memberikan hasil peramalan yang efektif dalam memprediksi jumlah industri di Jawa Barat karena kemampuannya menangani perubahan pola data yang dinamis. Hasil serupa juga ditemukan oleh Muhammad *et al.* (2021), yang menegaskan bahwa pembentukan FLRG dalam *Model Lee* mampu meningkatkan keakuratan dibandingkan model *fuzzy* klasik. Di sisi lain, penelitian oleh Fejriani *et al.* (2020) yang menggunakan DES Holt untuk memprediksi garis kemiskinan di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta menemukan bahwa metode ini cukup stabil dalam menggambarkan tren jangka panjang, meskipun memiliki keterbatasan dalam merespons perubahan fluktuatif tahunan. Hal ini sejalan dengan temuan penelitian ini, di mana DES Holt menghasilkan nilai MAPE yang sedikit lebih tinggi daripada FTS Lee namun tetap berada pada kategori sangat baik.

Selain itu, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa perbedaan kinerja antar metode tidak hanya disebabkan oleh kompleksitas model, tetapi juga oleh karakteristik data. FTS Lee lebih sensitif terhadap perubahan lokal, sementara DES Holt lebih menekankan stabilitas tren jangka panjang. Dengan demikian, pilihan metode peramalan harus disesuaikan dengan kebutuhan analisis: FTS untuk prediksi jangka pendek dan cepat berubah, serta DES untuk tren jangka panjang yang stabil. Secara substantif, hasil ini juga relevan dalam konteks kebijakan pengentasan kemiskinan. Pemerintah daerah dapat menggunakan hasil peramalan garis kemiskinan untuk merumuskan strategi penanggulangan kemiskinan yang lebih adaptif. FTS Lee dapat digunakan untuk memperkirakan fluktuasi tahunan yang mungkin dipengaruhi oleh faktor musiman atau program intervensi jangka pendek, sementara DES Holt dapat membantu memproyeksikan arah tren kemiskinan jangka menengah sebagai dasar perencanaan pembangunan ekonomi daerah.

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu dicatat. Pertama, data yang digunakan merupakan data sekunder tahunan tanpa memasukkan variabel penjelas lain seperti inflasi, pengangguran, atau kebijakan sosial yang dapat memengaruhi garis kemiskinan. Kedua, meskipun kedua metode menunjukkan hasil yang akurat, penelitian ini belum melakukan validasi *out-of-sample* atau pengujian *robust*

terhadap jumlah himpunan *fuzzy* pada FTS dan parameter pemulusan pada DES. Ketiga, sebagian data peramalan yang diperoleh dari perangkat lunak masih menunjukkan perbedaan skala antarperiode, sehingga perlu dilakukan normalisasi format data sebelum dilakukan analisis lanjutan. Walaupun demikian, hasil penelitian ini tetap memberikan kontribusi penting bagi literatur peramalan sosial ekonomi di Indonesia. Hasil perbandingan menunjukkan bahwa model FTS Lee dapat dijadikan alternatif andal untuk peramalan indikator kesejahteraan masyarakat di tingkat provinsi. Pemerintah daerah dapat memanfaatkan pendekatan ini dalam penyusunan perencanaan strategis berbasis data, terutama untuk memprediksi dampak kebijakan terhadap perubahan garis kemiskinan.

Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa baik metode *Fuzzy Time Series Model Lee* maupun *Double Exponential Smoothing* Holt mampu menghasilkan peramalan yang sangat akurat untuk data garis kemiskinan di Provinsi Gorontalo. Namun, tingkat akurasi FTS Lee lebih tinggi (MAPE 0,47%) dibandingkan DES Holt (MAPE 2,26%). Dengan demikian, model FTS Lee lebih direkomendasikan untuk analisis prediktif jangka pendek yang memerlukan respons cepat terhadap perubahan data, sedangkan DES Holt lebih sesuai digunakan untuk proyeksi jangka panjang yang menekankan stabilitas tren. Hasil penelitian ini memperkuat literatur bahwa pendekatan berbasis *fuzzy* dapat menjadi solusi yang efektif dalam konteks peramalan sosial ekonomi, khususnya dalam mendukung pengambilan keputusan berbasis data di bidang pengentasan kemiskinan.

4. KESIMPULAN DAN SARAN/REKOMENDASI

4.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa penelitian ini berhasil membandingkan tingkat akurasi dua metode peramalan, yaitu *Fuzzy Time Series* (FTS) *Model Lee* dan *Double Exponential Smoothing* (DES) Holt, dalam memprediksi garis kemiskinan di Provinsi Gorontalo selama periode 2004–2024. Hasil analisis menunjukkan bahwa metode *Fuzzy Time Series* Lee memberikan tingkat akurasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode *Double Exponential Smoothing* Holt. Nilai *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) untuk model FTS Lee Orde 1 adalah 0,80%, untuk Orde 2 sebesar 0,81%, dan untuk Orde 3 sebesar 0,86%, sedangkan MAPE untuk metode DES Holt sebesar 2,26%. Semua nilai MAPE berada di bawah ambang batas 10%, sehingga kedua metode dapat dikategorikan sangat baik, namun FTS Lee terbukti lebih unggul secara empiris. Model FTS Lee mampu menangkap dinamika perubahan garis kemiskinan dengan lebih presisi karena karakteristiknya yang fleksibel dalam menghadapi ketidakpastian data dan pola fluktuatif tahunan.

Proses *fuzzifikasi* dan pembentukan *Fuzzy Logical Relationship Group* (FLRG) menjadikan model ini lebih adaptif terhadap variasi data dibandingkan metode pemulusan ganda yang bersifat linier seperti DES Holt. Hasil peramalan menggunakan FTS Lee memperkirakan bahwa garis kemiskinan di Provinsi Gorontalo akan mencapai Rp464.959,50 pada tahun 2025 dan meningkat menjadi Rp504.911,90 pada tahun 2026. Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa *Fuzzy Time Series Model Lee* merupakan metode yang paling sesuai digunakan untuk peramalan data garis kemiskinan di Provinsi Gorontalo karena mampu menghasilkan tingkat keakuratan peramalan yang tinggi, stabil, dan konsisten dengan tren historis. Dengan demikian, penelitian ini menjawab tujuan utama yaitu menentukan metode peramalan terbaik dalam memprediksi garis kemiskinan berbasis data deret waktu, sekaligus memperkuat literatur empiris mengenai efektivitas metode berbasis logika *fuzzy* dalam konteks sosial-ekonomi regional.

4.2. Saran/Rekomendasi

Berdasarkan hasil penelitian dan implikasi temuan di atas, beberapa rekomendasi dapat diajukan. Pertama, bagi pemerintah daerah Provinsi Gorontalo, hasil penelitian ini dapat dijadikan acuan dalam menyusun strategi dan kebijakan pengentasan kemiskinan yang berbasis pada data prediktif. Peramalan garis kemiskinan yang akurat memungkinkan perencanaan intervensi sosial yang lebih tepat sasaran, baik dalam bentuk subsidi, program bantuan sosial, maupun peningkatan produktivitas ekonomi masyarakat miskin. Pemerintah daerah disarankan untuk mengintegrasikan hasil peramalan ini ke dalam sistem perencanaan pembangunan jangka menengah daerah (RPJMD) guna mengantisipasi kemungkinan peningkatan garis kemiskinan akibat fluktuasi harga dan perubahan kondisi ekonomi.

Kedua, bagi peneliti selanjutnya, disarankan untuk mengembangkan penelitian ini dengan mengombinasikan metode *Fuzzy Time Series* dengan pendekatan lain seperti Hybrid *Fuzzy-ARIMA* atau *Neural Network-based Fuzzy Forecasting*, agar diperoleh model yang lebih robust terhadap variasi data dan perubahan tren mendadak. Peneliti juga dapat mempertimbangkan faktor-faktor eksternal seperti inflasi, tingkat pengangguran, dan kebijakan fiskal daerah untuk memperoleh model peramalan multivariat yang lebih komprehensif. Selain itu, metode FTS lain seperti FTS Ruoy-Chyn Tsaur atau Stevenson-Porter dapat diuji guna membandingkan performa antarvarian metode *fuzzy* dalam konteks data sosial ekonomi.

Ketiga, bagi akademisi dan praktisi ekonomi pembangunan, hasil penelitian ini memberikan bukti empiris bahwa penggunaan metode peramalan berbasis *fuzzy* dapat menjadi alternatif ilmiah yang kuat dalam

mendukung analisis kebijakan publik. Oleh karena itu, pendekatan ini layak untuk diadopsi dalam riset-riset ekonomi regional lain, terutama dalam memprediksi indikator sosial yang bersifat tidak pasti dan dinamis seperti kemiskinan, pengangguran, serta ketimpangan pendapatan.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Badan Pusat Statistik (BPS) Provinsi Gorontalo yang telah menyediakan data sekunder mengenai garis kemiskinan yang menjadi dasar utama penelitian ini. Penulis menghargai dukungan dari Program Studi Statistika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Gorontalo atas fasilitas akademik dan administratif yang diberikan.

REFERENSI

- Admirani, I. (2018). Penerapan Metode Fuzzy Time Series Untuk Prediksi Laba Pada Perusahaan. *Jurnal JUPITER*, 10(1), 19–31. [https://doi.org/https://doi.org/10.31941/jim.v15i1.3180](https://doi.org/10.31941/jim.v15i1.3180)
- Adryan, Sururin, S. S., Akbar, W. S., & Widodo, E. (2022). Peramalan garis kemiskinan Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta menggunakan metode Double Exponential Smoothing. *Lebesgue: Jurnal Ilmiah Pendidikan Matematika, Matematika Dan Statistika*, 3(2), 338–343.
- Andiny, P., & Mandasari, P. (2017). Analisis Pertumbuhan Ekonomi dan Kemiskinan terhadap Ketimpangan di Provinsi Aceh. *Jurnal Penelitian Ekonomi Akuntansi (JENSI)*, 1(2), 196–209. <http://aceh.bps.go.id>
- Badan Pusat Statistik Provinsi Gorontalo. (2022). *Kondisi Kemiskinan Gorontalo Maret 2022*. Badan Pusat Statistik Provinsi Gorontalo.
- Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Timur. (2024). *Profil Kemiskinan Jawa Timur Tahun 2023*. Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Timur.
- Fahmi, T., Sudarno, & Wilandari, Y. (2013). Perbandingan Metode Pemulusan Eksponensial Tunggal dan Fuzzy Time Series untuk Memprediksi Indeks Harga Saham Gabungan. *Jurnal Gaussian*, 2(2), 137–146. <https://doi.org/https://doi.org/10.31941/gaussian.v2i2.17144>
- Fejriani, F., Hendrawansyah, M., Muhamni, L., Handayani, S. F., & Syaharuddin. (2020). Forecasting Peningkatan Jumlah Penduduk Berdasarkan Jenis Kelamin Menggunakan Metode ARIMA. *Jurnal Kajian, Penelitian Dan Pengembangan Pendidikan*, 8(1), 27–36. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.30872/jim.v15i1.3180>
- Hasri, D. A. (2020). Metode Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) untuk Peramalan Tingkat Kemiskinan di Kabupaten Sumbawa. *Gamma-Pi: Jurnal Matematika Dan Terapan*, 3(2), 196–202. <https://doi.org/10.33395/gamma-pi.v3i2.104229>
- Kartikasari, M. D. (2020). *Ppt Exponential Smoothing, Analisis Runtun Waktu*.
- Muhammad, M., Wahyuningsih, S., & Siringoringo, M. (2021). Peramalan Nilai Tukar Petani Subsektor Peternakan Menggunakan Fuzzy Time Series Lee. *Jambura Journal of Mathematics*, 3(1), 1–15. <https://doi.org/https://doi.org/10.34312/jjom.v3i1.5940>
- Musadat, F., Nur, J., & Nasri, A. (2023). Fuzzy Time Series Lee dengan Average Based Length untuk prediksi jumlah penduduk miskin Sulawesi Tenggara. *Jurnal Akademik Pendidikan Matematika*, 9(1), 63–67. <https://doi.org/10.55340/japm.v9i1.1270>
- Sadeq, A. (2008). *Analisis Prediksi Indeks Harga Saham Gabungan Dengan Metode ARIMA* [Universitas Diponegoro]. <https://library.undip.ac.id>
- Sofhya, H. N. (2023). Peramalan Jumlah Unit Industri di Jawa Barat Menggunakan Fuzzy Time Series. *MATHunesa: Jurnal Ilmiah Matematika*, 11(1), 17–25. <https://doi.org/https://doi.org/10.55340/japm.v9i1.1270>
- Telaumbanua, E. F., & Nurviana. (2022). Peramalan jumlah penduduk miskin di Kabupaten Aceh Tamiang menggunakan metode Exponential Smoothing. *Jurnal Matematika Dan Terapan*, 4(1), 31–35. <https://mail.ejurnalunsam.id/index.php/jgp/article/view/5516/3528>
- Wahyudi, D., & Rejekingsih, T. W. (2013). Analisis Kemiskinan di Jawa Tengah. *Diponegoro Journal of Economics*, 2(1), 1–17. <https://ejournal.undip.ac.id/index.php/dje/article/view/1914>