

Estimasi Mid-Year Pertumbuhan Penduduk Kabupaten Langkat Menggunakan Interpolasi Lagrange

Kenny Arimby*¹⁾, Galang Jedrian Indi²⁾, Ita Margaretta Br Tarigan³⁾

1. Program Studi Teknik Informatika, Sains & Teknologi, Institut Teknologi dan Bisnis Indonesia, Indonesia
2. Program Studi Teknik Informatika, Sains & Teknologi, Institut Teknologi dan Bisnis Indonesia, Indonesia
3. Program Studi Teknik Informatika, Sains & Teknologi, Institut Teknologi dan Bisnis Indonesia, Indonesia

Article Info

Kata Kunci: Estimasi Mid-Year; Interpolasi Lagrange; Kabupaten Langkat; MATLAB; Metode Numerik; Pertumbuhan Penduduk

Keywords: *Langkat Regency; Lagrange Interpolation; MATLAB; Mid-Year Estimation; Numerical Methods; Population Growth*

Article history:

Received: 13 Juni 2026

Revised: 14 Juni 2026

Accepted: 16 Juni 2026

Available: 1 November 2026

DOI :

[10.48144/suryainformatika.v16i2.2475](https://doi.org/10.48144/suryainformatika.v16i2.2475)

* Corresponding author.

Kenny Arimby

E-mail address:

kennyarimbi27@gmail.com

ABSTRAK

Pertumbuhan penduduk merupakan salah satu permasalahan demografis yang perlu dikelola secara sistematis, terutama di wilayah kabupaten yang sedang berkembang. Kabupaten Langkat sebagai salah satu kabupaten di Provinsi Sumatera Utara mengalami dinamika pertumbuhan penduduk yang cukup signifikan dari tahun ke tahun, dengan jumlah penduduk mencapai 1.089.969 jiwa pada tahun 2025. Penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi jumlah penduduk Kabupaten Langkat pada interval setengah tahunan (*mid-year*) periode 2018–2025 menggunakan metode Interpolasi Polinomial Lagrange berbasis 8 titik data resmi Badan Pusat Statistik (BPS) Kabupaten Langkat sebagai titik kontrol. Polinomial berderajat 7 dibentuk dari seluruh titik data dan digunakan untuk menghasilkan 15 titik estimasi dengan interval $\Delta x = 0,5$ tahun, mencakup 7 titik estimasi mid-year yang sebelumnya tidak tersedia dalam publikasi tahunan BPS. Analisis dilakukan dengan bantuan perangkat lunak MATLAB untuk menghitung nilai penduduk pada setiap interval setengah tahun dan menghasilkan visualisasi tren pertumbuhan. Hasil interpolasi menunjukkan bahwa pertumbuhan penduduk Kabupaten Langkat dalam periode tersebut mengalami tren peningkatan secara umum dengan rata-rata laju pertumbuhan tahunan sebesar +0,74% per tahun dan total pertambahan penduduk sebesar 54.558 jiwa, disertai penurunan sementara pada periode 2019–2020 sebesar -1,1109% yang diduga berkaitan dengan dampak pandemi COVID-19, serta akselerasi pertumbuhan tertinggi pada periode 2022–2023 sebesar +2,5757%. Metode Interpolasi Lagrange mampu menghasilkan estimasi yang konsisten dengan titik data observasi yang digunakan sehingga dapat dijadikan dasar perencanaan kebijakan kependudukan di Kabupaten Langkat.

ABSTRACT

Population growth is one of the demographic issues that needs to be managed systematically, especially in developing regencies. Langkat Regency as one of the regencies in North Sumatra Province has experienced significant population dynamics from year to year, with the population reaching 1,089,969 people in 2025. This study aims to estimate the population of Langkat Regency at six-month (mid-year) intervals for the period 2018–2025 using the Lagrange Polynomial Interpolation method based on 8 official data points from the Central Statistics Agency (BPS) of Langkat Regency as control points. A degree-7 polynomial was formed from all data points and used to generate 15 estimation points with an interval of $\Delta x = 0.5$ year, including 7 mid-year estimation points that were previously unavailable in BPS annual publications. Analysis was conducted using MATLAB software to calculate population values at every six-month interval and to produce visualizations of the growth trend. The interpolation results show that the population of Langkat Regency during this period experienced a general upward trend, with an average annual growth rate of approximately +0.74% and a total population increase of 54,558 people, accompanied by a temporary decline of -1.1109% in the 2019–2020 period, suspected to be related to the impact of the COVID-19 pandemic, as well as the highest growth acceleration of +2.5757% in the 2022–2023 period. The Lagrange Interpolation method was able to produce estimates consistent with the observed data points used, thus serving as a basis for population policy planning in Langkat Regency.

1. PENDAHULUAN

Kabupaten Langkat merupakan salah satu kabupaten di Provinsi Sumatera Utara yang jumlah penduduknya terus mengalami peningkatan dari tahun ke tahun. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS) Kabupaten Langkat, jumlah penduduk pada tahun 2025 mencapai 1.089.969 jiwa [1]. Pertumbuhan penduduk yang terus berlangsung ini menjadi tantangan tersendiri bagi pemerintah daerah dalam menyusun kebijakan pembangunan yang tepat sasaran di berbagai sektor, mulai dari perumahan, ketenagakerjaan, kesehatan, hingga pendidikan [2]. Kebutuhan akan data demografi yang akurat dan berkelanjutan menjadi semakin mendesak sebagai landasan pengambilan keputusan berbasis data di tingkat daerah [3].

Data kependudukan yang diterbitkan BPS umumnya bersifat tahunan, sehingga informasi pertumbuhan penduduk pada interval yang lebih rinci tidak tersedia secara langsung. Keterbatasan ini menyebabkan pemerintah daerah kesulitan memantau dinamika pertumbuhan penduduk secara lebih detail, khususnya untuk keperluan perencanaan kebijakan yang membutuhkan data pada interval waktu tertentu seperti perencanaan anggaran semester atau evaluasi program pembangunan tengah tahun. Beberapa penelitian terdahulu telah menerapkan metode interpolasi numerik untuk mengatasi keterbatasan ini. Hurit dan Nanga [4] menerapkan metode Interpolasi Lagrange untuk memprediksi jumlah penduduk Provinsi Nusa Tenggara Timur dan memperoleh hasil yang akurat. Sianturi dkk. [5] menggunakan Interpolasi Polinomial Lagrange berbantuan MATLAB untuk memprediksi pertumbuhan penduduk Indonesia periode 2016–2024, dengan rata-rata peningkatan 0,54% setiap enam bulan. Hanifah dkk. [6] menerapkan model yang sama pada data kependudukan Kabupaten Sleman dan berhasil memodelkan tren pertumbuhan secara akurat termasuk dampak pandemi COVID-19. Firanto dan Idayani [7] membandingkan metode Interpolasi Newton-Gregory Maju dan Mundur untuk estimasi penduduk Provinsi Papua, sementara Fahmi dan Karpen [8] menerapkan metode interpolasi untuk proyeksi pertumbuhan penduduk di Provinsi Riau. Rodliyah [9] juga telah menunjukkan bahwa Interpolasi Lagrange dapat digunakan secara efektif dalam peramalan jumlah penduduk. Namun, seluruh penelitian tersebut dilakukan pada wilayah yang berbeda, tidak satu pun yang berfokus pada Kabupaten Langkat, dan sebagian besar tidak menyajikan estimasi secara spesifik pada interval setengah tahunan yang dapat langsung dimanfaatkan untuk perencanaan kebijakan daerah.

Hingga saat ini, belum terdapat penelitian yang secara khusus menerapkan metode Interpolasi Polinomial Lagrange pada data kependudukan Kabupaten Langkat menggunakan data BPS periode 2018–2025, sekaligus menyajikan estimasi pada interval setengah tahunan

(*mid-year*). Estimasi *mid-year* penting bagi pemerintah daerah karena memungkinkan pemantauan pertumbuhan penduduk pada skala waktu yang lebih rinci, sehingga dapat mendukung pengambilan keputusan yang lebih responsif di berbagai sektor pembangunan. Kesenjangan inilah yang menjadi dasar dan alasan dilaksanakannya penelitian ini.

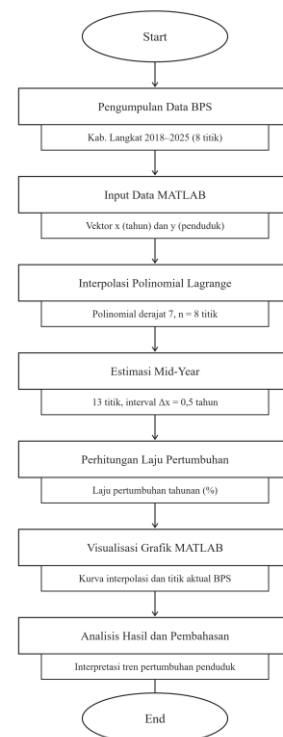
Penelitian ini bertujuan: (1) menerapkan metode Interpolasi Polinomial Lagrange untuk mengestimasi jumlah penduduk Kabupaten Langkat pada interval setengah tahun periode 2018–2025; (2) menghitung laju pertumbuhan penduduk tahunan; dan (3) menganalisis tren pertumbuhan penduduk secara visual menggunakan MATLAB [10]. Kebaruan penelitian ini terletak pada penggunaan data BPS Kabupaten Langkat periode terbaru 2018–2025 dengan penyajian estimasi pertumbuhan pada interval *mid-year* yang belum pernah dilakukan sebelumnya untuk wilayah ini, sehingga diharapkan dapat menjadi acuan dalam perencanaan pembangunan daerah berbasis data.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menerapkan metode Interpolasi Polinomial Lagrange untuk mengestimasi jumlah penduduk Kabupaten Langkat pada interval setengah tahunan periode 2018–2025 berbasis data BPS, dengan implementasi komputasi menggunakan MATLAB.

2.1 Kerangka Penelitian

Alur kerja penelitian dijelaskan melalui *flowchart* pada Gambar 1. yaitu:



Gambar 1. *Flowchart* sistem

Penelitian ini dimulai dengan mengumpulkan data dari Badan Pusat Statistik (BPS) Kabupaten Langkat untuk periode tahun 2018–2025, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1. Setelah itu, vektor tahun dan jumlah penduduk dimasukkan ke dalam MATLAB. Selanjutnya dilakukan perhitungan Interpolasi Polinomial Lagrange untuk menghasilkan estimasi mid-year pada 15 titik dengan interval 0,5 tahun. Dari hasil estimasi tersebut dihitung laju pertumbuhan penduduk tahunan, kemudian divisualisasikan dalam bentuk grafik kurva interpolasi beserta titik data aktual BPS.

2.2 Arsitektur dan Alur Metode

Penelitian ini menggunakan data sekunder jumlah penduduk Kabupaten Langkat untuk periode 2018–2025, yang bersumber dari publikasi resmi Badan Pusat Statistik Kabupaten Langkat [1][2]. Data terdiri dari 8 titik data tahunan, sebagaimana disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Data jumlah penduduk Kabupaten Langkat tahun 2018–2025

No.	Tahun (x)	Jumlah Penduduk(y)	Sumber
1	2018	1.035.411	BPS Kabupaten Langkat
2	2019	1.041.775	BPS Kabupaten Langkat
3	2020	1.030.202	SP2020 BPS
4	2021	1.034.519	BPS Kabupaten Langkat
5	2022	1.039.926	BPS Kabupaten Langkat
6	2023	1.066.711	BPS Kabupaten Langkat
7	2024	1.078.676	BPS Kabupaten Langkat
8	2025	1.089.969	BPS Kabupaten Langkat

Seluruh 8 titik data digunakan sebagai titik kontrol dalam pembentukan polinomial berderajat 7. Estimasi dilakukan pada 15 titik dengan interval $\Delta x = 0,5$ tahun untuk rentang $x \in \{2018; 2018,5; 2019; \dots; 2025\}$. Laju pertumbuhan penduduk tahunan dihitung dari hasil estimasi menggunakan persamaan:

$$r = \frac{P_t - P_{t-1}}{P_{t-1}} \times 100\% \quad (1)$$

Dimana:

r : laju pertumbuhan penduduk (%)

P_t : jumlah penduduk pada tahun ke- t

P_{t-1} : jumlah penduduk pada tahun sebelumnya

2.3 Metode Interpolasi Polinomial Lagrange

Estimasi jumlah penduduk pada interval setengah tahunan dilakukan menggunakan metode Interpolasi Polinomial Lagrange [4][5][6][11]. Penggunaan polinomial berderajat 7 didasarkan pada jumlah titik data yang tersedia, yaitu 8 titik data tahunan BPS periode 2018–2025. Secara matematis, interpolasi Lagrange dengan n titik data membentuk polinomial berderajat $n-1$, sehingga 8 titik data menghasilkan polinomial berderajat 7. Meskipun polinomial berderajat tinggi

berpotensi menghasilkan osilasi numerik (Runge phenomenon), potensi tersebut dapat diminimalkan apabila titik data tersebar merata pada rentang yang digunakan. Dalam penelitian ini, 8 titik data BPS tersebar secara seragam dengan interval satu tahun pada rentang 2018–2025, sehingga potensi osilasi numerik dapat dikendalikan dan hasil interpolasi tetap representatif. Dengan n titik data yang diketahui, nilai estimasi pada titik x dihitung menggunakan persamaan:

$$P_n(x) = \sum_{i=1}^n y_i \cdot L_i(x) \quad (2)$$

Dimana:

$P_n(x)$: nilai estimasi jumlah penduduk pada titik x

y_i : jumlah penduduk aktual pada tahun ke- i

$L_i(x)$: basis polinomial Lagrange[5][6][12] yang dinyatakan sebagai:

$$L_i(x) = \prod_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^n \frac{x - x_j}{x_i - x_j} \quad (3)$$

Dimana:

x_i : tahun ke- i

x_j : tahun ke- j

n : jumlah titik data yang digunakan

Setiap basis $L_i(x)$ memiliki sifat $L_i(x_i) = 1$ dan $L_i(x_j) = 0$ untuk $j \neq i$, sehingga polinomial yang terbentuk melewati tepat seluruh titik data yang diketahui [4].

2.4 Implementasi MATLAB

Seluruh proses komputasi interpolasi dan visualisasi tren pertumbuhan penduduk Kabupaten Langkat diimplementasikan menggunakan perangkat lunak MATLAB Online [10]. MATLAB dipilih karena kemampuannya dalam menangani operasi matriks dan perhitungan numerik iteratif secara efisien, serta menyediakan fasilitas visualisasi grafik yang

informatif. Kode program yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 2.

```

1 % Interpolasi Lagrange - Penduduk Kabupaten Langkat
2 x = [2018,2019,2020,2021,2022,2023,2024,2025];
3 y = [1035411,1041775,1030202,1034519,...
4     1039926,1066711,1078676,1089969];
5 x_interp = 2018:0.5:2025;
6 y_interp = zeros(size(x_interp)); n = length(x);
7 for k = 1:length(x_interp)
8     xi = x_interp(k); hasil = 0;
9     for i = 1:n
10        L = 1;
11        for j = 1:n
12            if j ~= i
13                L = L*(xi-x(j))/(x(i)-x(j));
14            end
15        end
16        hasil = hasil + y(i)*L;
17    end
18    y_interp(k) = hasil;
19 end
20 plot(x_interp,y_interp/1e6,'-b','LineWidth',2);
21 hold on; scatter(x,y/1e6,80,'ro','filled');
22 xlabel('Tahun'); ylabel('Penduduk (Juta Jiwa)');
23 title('Interpolasi Lagrange - Kab. Langkat 2018-2025');
24 legend('Interpolasi','Data Aktual BPS'); grid on;
25

```

Gambar 2. Kode program MATLAB interpolasi Lagrange Kabupaten Langkat

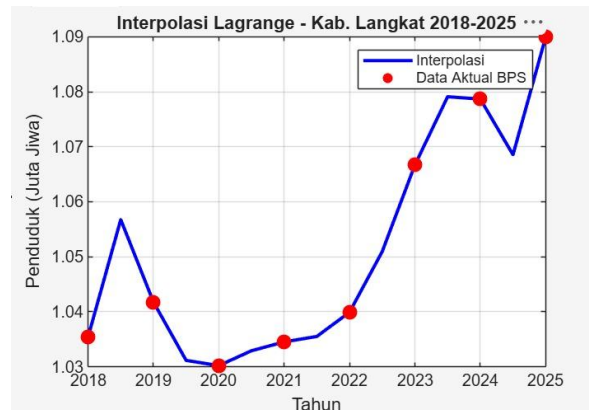
Kode program pada Gambar 2 disusun secara sistematis dalam empat bagian utama yang saling berkaitan. Bagian pertama adalah inisialisasi data, di mana vektor x didefinisikan berisi 8 elemen tahun $x = [2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023, 2024, 2025]$ dan vektor y berisi jumlah penduduk aktual BPS yang bersesuaian $y = [1035411, 1041775, 1030202, 1034519, 1039926, 1066711, 1078676, 1089969]$. Vektor titik interpolasi x_interp didefinisikan menggunakan perintah `2018:0.5:2025` yang secara otomatis menghasilkan 15 titik dengan interval $\Delta x = 0,5$ tahun, mencakup seluruh rentang data dari tahun 2018 hingga 2025. Variabel y_interp diinisialisasi sebagai vektor nol berukuran sama dengan x_interp menggunakan perintah `zeros(size(x_interp))` sebagai wadah untuk menampung hasil estimasi pada setiap titik interpolasi.

Bagian kedua adalah perhitungan iteratif nilai interpolasi menggunakan dua perulangan `for` bersarang. Perulangan luar dengan indeks k beriterasi pada setiap titik estimasi $x_interp(k)$, sementara perulangan dalam dengan indeks i dan j digunakan untuk menghitung nilai basis polinomial $L_i(x)$ sesuai Persamaan (3). Kondisi `if j ~= i` memastikan bahwa faktor pembagi tidak menyertakan titik ke- i itu sendiri dalam perhitungan, sesuai dengan definisi basis Lagrange. Nilai $L_i(x)$ yang telah dihitung kemudian dikalikan dengan y_i dan diakumulasikan ke variabel `hasil` untuk menghasilkan nilai $P(x)$ sesuai Persamaan (2). Setelah perulangan selesai untuk satu titik k , hasilnya disimpan ke `y_interp(k)`.

Bagian ketiga adalah visualisasi hasil interpolasi menggunakan perintah `plot` untuk menampilkan kurva interpolasi sebagai garis biru kontinu dengan ketebalan `LineWidth` sebesar 2, sehingga kurva terlihat jelas dan mudah dibaca. Perintah `hold on` digunakan agar grafik tidak tertimpa saat perintah berikutnya dieksekusi. Perintah `scatter` kemudian digunakan untuk menampilkan 8 titik data aktual BPS sebagai titik lingkaran merah berukuran 80 dengan isian penuh

(filled), sehingga posisi data aktual dapat dibedakan secara visual dari kurva interpolasi.

Bagian keempat adalah pengaturan tampilan grafik yang meliputi pemberian label sumbu x sebagai "Tahun" dan sumbu y sebagai "Penduduk (Juta Jiwa)", judul grafik "Interpolasi Lagrange - Kab. Langkat 2018-2025", legenda yang membedakan kurva interpolasi dan titik data aktual BPS, serta aktivasi grid untuk memudahkan pembacaan nilai pada grafik. Hasil keluaran grafik MATLAB dari implementasi program tersebut disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Hasil grafik interpolasi Lagrange Kabupaten Langkat 2018-2025

Pada Gambar 3 terlihat bahwa kurva interpolasi berwarna biru melewati seluruh 8 titik data aktual BPS yang ditandai dengan lingkaran merah, sesuai dengan karakteristik metode Interpolasi Lagrange. Kurva interpolasi menunjukkan tren pertumbuhan penduduk yang berfluktuasi pada periode 2018–2022, kemudian meningkat signifikan pada periode 2022–2025. Visualisasi ini mempermudah pembacaan dinamika pertumbuhan penduduk Kabupaten Langkat secara keseluruhan yang akan dianalisis lebih lanjut pada bagian Hasil dan Pembahasan. Evaluasi akurasi model secara kuantitatif disajikan pada Sub Bagian 2.5.

2.5 Validasi Model

Untuk mengevaluasi performa metode Interpolasi Polinomial Lagrange, dilakukan validasi menggunakan pendekatan leave-one-out cross-validation (LOOCV). Pada setiap iterasi, satu titik data dikeluarkan dari himpunan titik kontrol, kemudian polinomial Lagrange dibentuk dari 7 titik data yang tersisa untuk mengestimasi nilai pada titik yang dikeluarkan tersebut. Proses ini diulang untuk seluruh titik yang berada di dalam rentang data.

Validasi dilakukan pada 6 titik tengah (2019–2024) dan tidak menyertakan titik ujung 2018 dan 2025. Hal ini dikarenakan penghilangan salah satu titik ujung akan mengubah proses interpolasi menjadi ekstrapolasi, sehingga evaluasi error pada titik ujung tidak relevan untuk mengukur performa metode interpolasi di dalam rentang data observasi.

Metrik akurasi yang digunakan meliputi Mean Absolute Error (MAE), Mean Absolute Percentage

Error (MAPE), dan Root Mean Square Error (RMSE), yang dinyatakan sebagai berikut:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i| \quad (4)$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right| \times 100\% \quad (5)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (6)$$

Dimana:

n = jumlah titik validasi(6)

y_i = nilai actual BPS

$\hat{y}_i$ = nilai estimasi LOOCV

Hasil validasi disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil leave-one-out cross-validation metode Interpolasi Lagrange

Tahun	Aktual (jiwa)	Estimasi LOOCV (jiwa)	Error (jiwa)	APE(%)
2019	1.041.775	988.390	53.385	5,1244
2020	1.030.202	1.047.997	17.795	1,7273
2021	1.034.519	1.023.842	10.677	1,0321
2022	1.039.926	1.050.603	10.677	1,0267
2023	1.066.711	1.048.916	17.795	1,6682
2024	1.078.676	1.132.061	53.385	4,9491
Rata-rata			27.285,67	2,5880

MAE= 27.285,67 jiwa

MAPE= 2,5880%

RMSE= 33.068,71 jiwa

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan metode Interpolasi Polinomial Lagrange yang telah dijabarkan pada bagian metode penelitian, berikut dijelaskan secara rinci proses perhitungan manual, hasil estimasi seluruh titik interpolasi, perhitungan laju pertumbuhan, visualisasi, dan analisis dinamika pertumbuhan penduduk Kabupaten Langkat periode 2018–2025.

a) Pembentukan Basis Polinomial Lagrange

Langkah pertama dalam proses interpolasi adalah menghitung nilai basis polinomial $L_i(x)$ untuk setiap titik data pada titik estimasi yang diinginkan. Sebagai ilustrasi perhitungan manual, digunakan titik estimasi pertama yaitu $x = 2018,5$ yang merepresentasikan estimasi jumlah penduduk pada pertengahan tahun 2018. Dengan mengacu pada Persamaan (3) dan menggunakan $n = 8$ titik data, nilai basis $L_i(2018,5)$ untuk setiap i dihitung sebagai berikut:

$$L_0(2018,5) = \frac{(2018,5-2019)}{(2018-2019)} \frac{(2018,5-2020)}{(2018-2020)} \frac{(2018,5-2021)}{(2018-2021)}$$

$$L_0(2018,5) = \frac{(2018,5-2022)}{(2018-2022)} \frac{(2018,5-2023)}{(2018-2023)} \frac{(2018,5-2024)}{(2018-2024)} \frac{(2018,5-2025)}{(2018-2025)}$$

$$L_0(2018,5) = \frac{(-0,5)}{(-1)} \frac{(-1,5)}{(-2)} \frac{(-2,5)}{(-3)} \frac{(-3,5)}{(-4)} \frac{(-4,5)}{(-5)} \frac{(-5,5)}{(-6)} \frac{(-6,5)}{(-7)}$$

$$L_1(2018,5) = \frac{(2018,5-2018)}{(2019-2018)} \frac{(2018,5-2020)}{(2019-2020)} \frac{(2018,5-2021)}{(2019-2021)} \frac{(2018,5-2022)}{(2018,5-2022)} \frac{(2018,5-2023)}{(2018,5-2023)} \frac{(2018,5-2024)}{(2018,5-2024)} \frac{(2018,5-2025)}{(2019-2025)}$$

$$L_1(2018,5) = \frac{(0,5)}{(1)} \frac{(-1,5)}{(-1)} \frac{(-2,5)}{(-2)} \frac{(-3,5)}{(-3)} \frac{(-4,5)}{(-4)} \frac{(-5,5)}{(-5)} \frac{(-6,5)}{(-6)}$$

$$L_1(2018,5) = 1,4663085938$$

Proses yang sama dilakukan untuk L_2 hingga L_7 . Seluruh nilai basis $L_i(2018,5)$ yang diperoleh dirangkum pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai basis polinomial $L_i(2018,5)$ untuk setiap titik data

i	x_i	y_i	L_i	$y_i \times L_i$
0	2018	1.035.411	0,2094726562	216.890,29
1	2019	1.041.775	1,4663085938	1.527.563,64
2	2020	1.030.202	-1,4663085938	-1.510.594,05
3	2021	1.034.519	1,4663085938	1.516.924,10
4	2022	1.039.926	-1,0473632812	-1.089.180,31
5	2023	1.066.711	0,4887695312	521.375,84
6	2024	1.078.676	-0,1333007812	-143.788,35
7	2025	1.089.969	0,0161132812	17.562,98

b) Perhitungan Nilai Estimasi $P(x)$

Setelah seluruh nilai basis $L_i(x)$ diperoleh, nilai estimasi jumlah penduduk dihitung menggunakan Persamaan (2) dengan menjumlahkan seluruh hasil perkalian $y_i \times L_i(x)$:

$$P(2018,5) = \sum_{i=0}^7 y_i \cdot L_i(2018,5)$$

$$P(2018,5) = 216.890,29 + 1.527.563,64 + (-1.510.594,05) + 1.516.924,10 + (-1.089.180,31) + 521.375,84 + (-143.788,35) + 17.562,98$$

$$P(2018,5) = 1.056.754 \text{ jiwa}$$

Hasil ini menunjukkan bahwa estimasi jumlah penduduk Kabupaten Langkat pada pertengahan tahun 2018 adalah sebesar **1.056.754 jiwa**. Proses perhitungan yang sama kemudian diulang untuk seluruh 15 titik estimasi mid-year pada rentang 2018–2025 menggunakan MATLAB.

c) Hasil Estimasi Seluruh Titik Mid-Year

Berdasarkan perhitungan interpolasi menggunakan Persamaan (2) dan (3) pada seluruh 15 titik, diperoleh hasil sebagaimana disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil estimasi jumlah penduduk Kabupaten Langkat 2018–2025

No.	Titik(x)	Estimasi Penduduk(jiwa)	Keterangan
1	2018	1.035.411	Aktual BPS

2	2018,5	1.056.754	Estimasi Mid-Year
3	2019	1.041.775	Aktual BPS
4	2019,5	1.031.155	Estimasi Mid-Year
5	2020	1.030.202	Aktual BPS
6	2020,5	1.032.909	Estimasi Mid-Year
7	2021	1.034.519	Aktual BPS
8	2021,5	1.035.511	Estimasi Mid-Year
9	2022	1.039.926	Aktual BPS
10	2022,5	1.050.956	Estimasi Mid-Year
11	2023	1.066.711	Aktual BPS
12	2023,5	1.079.092	Estimasi Mid-Year
13	2024	1.078.676	Aktual BPS
14	2024,5	1.068.544	Estimasi Mid-Year
15	2025	1.089.969	Aktual BPS

Dari Tabel 4 terlihat bahwa metode Interpolasi Polinomial Lagrange berhasil melewati seluruh 8 titik data aktual BPS secara tepat, yang merupakan sifat fundamental dari metode interpolasi polinomial. Nilai estimasi mid-year yang dihasilkan berkisar antara 1.031.155 jiwa hingga 1.079.092 jiwa, memberikan gambaran dinamika pertumbuhan penduduk yang jauh lebih rinci dibandingkan data tahunan saja.

d) Perhitungan Laju Pertumbuhan Penduduk Tahunan

Laju pertumbuhan penduduk tahunan dihitung berdasarkan data aktual BPS menggunakan Persamaan (1). Sebagai contoh perhitungan manual untuk periode 2018–2019:

$$\begin{aligned}
 r_{2018-2019} &= \frac{P(2019) - P(2018)}{P(2018)} \times 100\% \\
 &= \frac{1.041.775 - 1.035.411}{1.035.411} \times 100\% \\
 &= \frac{6.364}{1.035.411} \times 100\% \\
 &= +0,6146\%
 \end{aligned}$$

Untuk periode 2019–2020:

$$\begin{aligned}
 r_{2019-2020} &= \frac{1.030.202 - 1.041.775}{1.041.775} \times 100\% \\
 &= \frac{-11.573}{1.041.775} \times 100\% \\
 &= -1,1109\%
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan laju pertumbuhan untuk seluruh periode disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Laju pertumbuhan penduduk Kabupaten Langkat 2018–2025

No.	Periode	P_{t-1} (jiwa)	P_t (jiwa)	Selisih (jiwa)	Laju $r(\%)$
-----	---------	---------------------	-----------------	-------------------	-----------------

1	2018-2019	1.035.411	1.041.775	+6.364	+0,6146
2	2019-2020	1.041.775	1.030.202	-11.573	-1,1109
3	2020-2021	1.030.202	1.034.519	+4.317	+0,4190
4	2021-2022	1.034.519	1.039.926	+5.407	+0,5227
5	2022-2023	1.039.926	1.066.711	+26.785	+2,5757
6	2023-2024	1.066.711	1.078.676	+11.965	+1,1217
7	2024-2025	1.078.676	1.089.969	+11.293	+1,0469

Rata-rata laju pertumbuhan penduduk dihitung sebagai berikut:

$$r = \frac{0,6146 + (-1,1109) + 0,4190 + 0,5227 + 2,5757 + 1,1217 + 1,0469}{7}$$

$$r = \frac{5,1897}{7}$$

$$r = +0,7414\%$$

Dari Tabel 5 dapat dilihat bahwa laju pertumbuhan penduduk Kabupaten Langkat berfluktuasi setiap tahunnya. Penurunan paling signifikan terjadi pada periode 2019–2020 dengan laju -1,1109%, yang diduga berkaitan dengan dampak pandemi COVID-19 yang memengaruhi dinamika kependudukan melalui peningkatan angka kematian, perubahan pola migrasi, serta pembatasan mobilitas penduduk [13][14]. Laju pertumbuhan tertinggi terjadi pada periode 2022–2023 sebesar +2,5757% dengan pertambahan 26.785 jiwa, menandakan akselerasi pertumbuhan pasca pandemi yang signifikan.

e) Visualisasi Tren Pertumbuhan Penduduk

Hasil estimasi interpolasi divisualisasikan menggunakan MATLAB dalam bentuk kurva kontinu yang menghubungkan seluruh 15 titik estimasi, disertai 8 titik data aktual BPS sebagai pembanding, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3. Kurva berwarna biru merepresentasikan hasil interpolasi, sedangkan titik lingkaran merah merepresentasikan data aktual BPS. Dari Gambar 3 terlihat bahwa kurva interpolasi melewati tepat seluruh titik merah, yang menunjukkan bahwa kurva konsisten melewati seluruh titik data, sesuai dengan karakteristik metode Interpolasi Lagrange. Kurva menunjukkan adanya penurunan pada periode 2019–2020, kemudian stabil pada 2020–2022, diikuti peningkatan tajam pada 2022–2023, dan sedikit fluktuasi pada 2023–2025 sebelum mencapai nilai tertinggi pada tahun 2025 sebesar 1.089.969 jiwa.

f) Analisis Dinamika Pertumbuhan Penduduk

Berdasarkan hasil estimasi pada Tabel 4 dan laju pertumbuhan pada Tabel 5, dapat diidentifikasi tiga fase dinamika pertumbuhan penduduk Kabupaten Langkat selama periode 2018–2025. Fase pertama adalah pertumbuhan normal pada 2018–2019 dengan laju +0,6146% dan pertambahan 6.364 jiwa, mencerminkan kondisi demografis yang stabil sebelum terjadinya pandemi. Fase kedua adalah penurunan dan pemulihan berkaitan dengan pandemi COVID-19[13][14] pada 2019–2022, ditandai dengan laju negatif pada 2019–2020 sebesar -1,1109% yang merupakan satu-satunya laju pertumbuhan negatif sepanjang periode pengamatan, kemudian berangsur pulih pada 2020–2021 (+0,4190%) dan 2021–2022 (+0,5227%). Fase ketiga adalah akselerasi pertumbuhan pasca pandemi pada 2022–2025, dengan laju tertinggi pada 2022–2023 sebesar +2,5757% yang diikuti pertumbuhan stabil pada 2023–2024 (+1,1217%) dan 2024–2025 (+1,0469%).

Secara keseluruhan, rata-rata laju pertumbuhan penduduk Kabupaten Langkat selama periode 2018–2025 adalah +0,7414% per tahun dengan total pertambahan penduduk sebesar 54.558 jiwa, dari 1.035.411 jiwa pada tahun 2018 menjadi 1.089.969 jiwa pada tahun 2025. Hasil ini sejalan dengan temuan penelitian serupa yang menerapkan metode Interpolasi Lagrange pada data kependudukan daerah lain, baik di Indonesia maupun Internasional, di mana metode ini mampu menghasilkan estimasi yang konsisten dengan titik data observasi yang digunakan [4][5][6][11].

g) *Evaluasi Akurasi Model*

Berdasarkan hasil leave-one-out cross-validation pada Tabel 2, metode Interpolasi Polinomial Lagrange menghasilkan nilai MAE sebesar 27.285,67 jiwa, MAPE sebesar 2,5880%, dan RMSE sebesar 33.068,71 jiwa. Nilai MAPE sebesar 2,5880% berada di bawah 10%, yang mengindikasikan bahwa metode ini menghasilkan estimasi dengan tingkat akurasi yang sangat baik di dalam rentang data observasi. Error terbesar terjadi pada titik tahun 2019 dan 2024 yang berada paling dekat dengan titik ujung rentang data, yang merupakan karakteristik umum polinomial berderajat tinggi akibat berkurangnya jumlah titik kontrol di sisi kiri dan kanan titik yang dievaluasi.

4. KESIMPULAN

Metode Interpolasi Polinomial Lagrange berhasil diterapkan untuk mengestimasi jumlah penduduk Kabupaten Langkat pada interval setengah tahunan (mid-year) periode 2018–2025 menggunakan 8 titik data resmi BPS Kabupaten Langkat sebagai titik kontrol. Polinomial berderajat 7 yang terbentuk menghasilkan 15 titik estimasi dengan interval $\Delta x = 0,5$ tahun, mencakup 7 titik estimasi mid-year yang sebelumnya tidak tersedia dalam publikasi tahunan BPS. Seluruh titik data aktual BPS dapat dilewati secara tepat oleh polinomial yang terbentuk, menghasilkan estimasi yang konsisten terhadap titik data observasi. Hasil validasi menggunakan

pendekatan leave-one-out cross-validation pada 6 titik tengah (2019–2024) menghasilkan nilai MAE sebesar 27.285,67 jiwa, MAPE sebesar 2,5880%, dan RMSE sebesar 33.068,71 jiwa, yang mengindikasikan bahwa metode Interpolasi Polinomial Lagrange mampu menghasilkan estimasi dengan tingkat akurasi yang sangat baik di dalam rentang data observasi.

Estimasi mid-year yang dihasilkan memberikan gambaran dinamika pertumbuhan penduduk yang jauh lebih rinci dibandingkan data tahunan. Nilai estimasi pertengahan tahun yang diperoleh antara lain 1.056.754 jiwa pada pertengahan 2018, 1.031.155 jiwa pada pertengahan 2019, 1.032.909 jiwa pada pertengahan 2020, 1.035.511 jiwa pada pertengahan 2021, 1.050.956 jiwa pada pertengahan 2022, 1.079.092 jiwa pada pertengahan 2023, dan 1.068.544 jiwa pada pertengahan 2024. Informasi granular ini tidak dapat diperoleh secara langsung dari sumber data tahunan manapun, sehingga menjadi kontribusi utama penelitian ini terhadap analisis demografi Kabupaten Langkat.

Laju pertumbuhan penduduk Kabupaten Langkat selama periode 2018–2025 menunjukkan tiga fase yang berbeda. Fase pertama adalah pertumbuhan normal sebelum pandemi pada 2018–2019 dengan laju +0,6146%. Fase kedua adalah penurunan dan pemulihan yang diduga berkaitan dengan pandemi COVID-19, ditandai dengan laju negatif pada 2019–2020 sebesar -1,1109%, yang merupakan laju pertumbuhan terendah sepanjang periode pengamatan, diikuti pemulihan bertahap pada 2020–2021 sebesar +0,4190% dan 2021–2022 sebesar +0,5227%. Fase ketiga adalah akselerasi pertumbuhan pasca pandemi, dengan laju tertinggi pada 2022–2023 sebesar +2,5757%, kemudian stabil pada 2023–2024 sebesar +1,1217% dan 2024–2025 sebesar +1,0469%. Rata-rata laju pertumbuhan penduduk Kabupaten Langkat selama periode 2018–2025 adalah +0,74% per tahun dengan total pertambahan penduduk sebesar 54.558 jiwa, dari 1.035.411 jiwa pada tahun 2018 menjadi 1.089.969 jiwa pada tahun 2025. Implementasi komputasi menggunakan MATLAB mempermudah proses komputasi numerik dan visualisasi tren pertumbuhan penduduk yang informatif.

Hasil penelitian ini berimplikasi langsung pada ketersediaan data demografi Kabupaten Langkat yang lebih lengkap dan rinci, sehingga berpotensi dimanfaatkan sebagai referensi tambahan bagi pemerintah daerah dalam penyusunan perencanaan pembangunan di sektor perumahan, ketenagakerjaan, kesehatan, dan pendidikan yang membutuhkan estimasi data penduduk pada interval waktu tertentu dengan tingkat ketelitian waktu yang lebih tinggi. Selain itu, pendekatan yang sama dapat diterapkan pada kabupaten/kota lain di Provinsi Sumatera Utara yang memiliki keterbatasan data demografis pada interval tertentu. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan untuk membandingkan akurasi metode

Interpolasi Polinomial Lagrange dengan metode numerik lain seperti Interpolasi Newton, Interpolasi Spline Kubik, atau metode regresi, serta memperluas cakupan analisis dengan mempertimbangkan variabel demografi lain seperti angka kelahiran, kematian, dan migrasi penduduk guna menghasilkan estimasi yang lebih komprehensif.

REFERENSI

- [1] BPS Kabupaten Langkat, "Kabupaten Langkat dalam Angka 2025," Badan Pusat Statistik Kabupaten Langkat, Stabat, 2025.
- [2] BPS Kabupaten Langkat, "Kabupaten Langkat dalam Angka 2024," Badan Pusat Statistik Kabupaten Langkat, Stabat, 2024.
- [3] BPS Kabupaten Langkat, "Indeks Pembangunan Manusia Kabupaten Langkat 2023," Badan Pusat Statistik Kabupaten Langkat, Stabat, 2024.
- [4] R. U. Hurit and M. Y. Nanga, "Penerapan Metode Interpolasi Lagrange dalam Memprediksi Jumlah Penduduk Provinsi Nusa Tenggara Timur," *Math Educa Journal*, vol.6, no.1, pp.57-62, 2022.
- [5] M. D. Sianturi, M. C. Lubis, G. T. Sinaga, and J. N. Manihuruk, "Prediksi Pertumbuhan Jumlah Penduduk Indonesia Menggunakan Interpolasi Polinomial Lagrange," *J-CEKI: Jurnal Cendekia Ilmiah*, vol.4, no.2, pp.1315-1321, 2025.
- [6] N. Hanifah, A. Azahra, and B. Setiaji, "Analisis Dinamika Pertumbuhan Penduduk Sleman Menggunakan Model Interpolasi Lagrange," *FRAKTAL: Jurnal Matematika dan Pendidikan Matematika*, vol.6, no.2, pp.137-144, 2025.
- [7] A. Firanto and D. Idayani, "Perbandingan Performa Metode Interpolasi Polinomial Newton-Gregory Maju dan Newton-Gregory Mundur dalam Mengestimasi Jumlah Penduduk di Provinsi Papua," *Jurnal Matematika Sains dan Teknologi*, vol.23, no.2, pp.106-133, 2023.
- [8] F. Fahmi and Karpen, "Penerapan Metode Interpolasi untuk Proyeksi Pertumbuhan Penduduk di Provinsi Riau," *SATIN-Sains dan Teknologi Informasi*, vol.4, no.1, pp.11-19, 2018.
- [9] I. Rodliyah, "Aplikasi Interpolasi Lagrange dan Ekstrapolasi dalam Peramalan Jumlah Penduduk," in *Seminar Nasional Matematika dan Pendidikan Matematika UNY*, 2015, pp.265-272.
- [10] D. Krisnawati, "Implementasi Interpolasi Lagrange untuk Prediksi Nilai Data Berpasangan dengan Menggunakan MATLAB," in *Seminar Nasional Dosen Universitas AMIKOM Yogyakarta*, vol.1, no.1, pp.1-6, 2020.
- [11] B. Das and D. Chakrabarty, "Lagrange's Interpolation Formula: Representation of Numerical Data by a Polynomial Curve," *International Journal of Mathematics Trends and Technology (IJMTT)*, vol.34, no.2, pp.64-72, 2016.
- [12] J.-P. Berrut and L. N. Trefethen, "Barycentric Lagrange Interpolation," *SIAM Review*, vol.46, no.3, pp.501-517, 2004.
- [13] S. L. Z. Ridho and S. A. Yusuf, "Dinamika Komposisi Penduduk: Dampak Potensial Pandemi Covid-19 terhadap Demografi di Indonesia," *Jurnal Populasi*, vol.28, no.2, pp.1-15, 2021.
- [14] Pusat Penelitian Kependudukan LIPI, "Pandemi COVID-19: Apa yang Bisa Dipelajari dari Sisi Demografi?," Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Jakarta, 2020.