Bilangan : Jurnal Ilmiah Matematika, Kebumian dan Angkasa
Volume. 3, Nomor. 1 Tahun 2025
e-ISSN :3032-7113; p-ISSN :3032-6389, Hal 79-91
DOI: https://doi.org/10.62383/bilangan.v3i1.390
Available online at: https://journal.arimsi.or.id/index.php/Bilangan

Penerapan Metode *Adams Bashforth Moulton* melalui Persamaan Logistik dalam Memprediksi Jumlah Penduduk di Kota Medan

Febya Br Nasution[1*], Dian Cintya Hasmi Br Pohan[2], Rico Pradana Dita[3], Rizq Alwi Marpaung[4]
[1-4] Program Studi Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sumatera Utara Medan, Indonesia
Email : [1]febyanasutionnn@gmail.com, [2]diancintyahasmipohan@gmail.com, [3]ricopradanadita@gmail.com, [4]rizqalwimarpaung@gmail.com*

Korespondensi penulis : febyanasutionnn@gmail.com

Abstract. *One of the biggest problems faced by several countries is the rapid increase in population growth, especially in an archipelagic country like Indonesia. One of the cities in North Sumatra Province that has experienced a significant increase in population is Medan City. This study discusses the population growth each year in Medan City. This study predicts the future population by combining historical data on population, birth rate, death rate, and migration using the Adams-Bashforth-Moulton approach in logistic modeling. This study shows the progress of the approach in predicting the population growth of Medan City. With an area of 265.10 thousand km2, and a population reaching 2,474,166 people in 2023. The Adams-Bashforth-Moulton method as a logistic growth model is very effective for decision making in predicting population growth in the city of Medan.*

Keywords: *Logistic, Model, Adams-Bashforth-Moulton, Method, Runge-Kutta*

Abstrak. Salah satu masalah terbesar yang dihadapi beberapa negara-negara adalah peningkatan pertumbuhan penduduk yang cepat, terutama di Negara kepulauan seperti Indonesia. Kota Medan menjadi salah satu kota yang mengalami peningkatan populasi secara signifikan di Provinsi Sumatera Utara. Penelitian ini membahas tentang pertumbuhan penduduk setiap tahunnya di Kota Medan. Studi ini memprediksi tentang populasi masa depan dengan menggabungkan data historis tentang populasi, angka kelahiran, angka kematian, dan migrasi menggunakan pendekatan Adams-Bashforth-Moulton dalam pemodelan logistik. Penelitian ini menunjukkan kemajuan pendekatan dalam meramalkan pertumbuhan populasi Kota Medan. Dengan luas wilayah 265,10 ribu km^2, dan populasi mencapai 2.474.166 jiwa pada tahun 2023. Metode Adams-Bashforth-Moulton sebagai model pertumbuhan logistik sangat efektif bagi pengambianl keputusan dalam memprediksi pertumbuhan penduduk di kota Medan.

Kata Kunci: Model Logistik, Metode, Adams-Bashforth-Moulton, Runge-Kutta

1. PENDAHULUAN

Indonesia sebagai salah satu Negara kepulauan di Asia Tenggara terdiri dari sekitar 17.000 pulau, termasuk Papua, Kalimantan, Jawa, serta Sulawesi dan Sumatera. Dilihat dari data Badan Pusat Statistik (BPS), jumlah populasi penduduk di Indonesia diperkirakan mencapai sekitar 278,7 juta jiwa, menjadikannya negara dengan jumlah penduduk terbesar keempat di dunia. Salah satu kota di Indonesia adalah Kota Medan yang berada di Provinsi Sumatera Utara. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (BPS) Kota Medan tahun 2023, jumlah populasi kota medan sekitar 2.474.166 jiwa dan memiliki luas wilayah 265,10 km^2.

Pertumbuhan penduduk yang tidak terkontrol menjadi masalah serius dalam pembangunan suatu daerah karena dapat menimbulkan kemiskinan, ketidakberdayaan, dan pengangguran, yang pada akhirnya berujung pada rendahnya kualitas sumber daya manusia

Received: Desember 07, 2024; Revised: Desember 21, 2024 ; Accepted: Januari 13, 2025;
Online Available : Januari, 15, 2025

yang dibutuhkan dalam pembangunan. Kota Medan mengalami tingkat pertumbuhan penduduk yang cukup tinggi jika dibandingkan dengan kabupaten atau kota lainnya yang berada di Provinsi Sumatera Utara. Tingginya pertumbuhan penduduk ini dipengaruhi oleh faktor alami serta migrasi penduduk dari daerah lain. Hal ini merupakan akibat dari potensi ekonomi daerah yang besar, sehingga menarik penduduk dari daerah lain untuk pindah.

Model pertumbuhan logistik dapat digunakan untuk memprediksi pertumbuhan penduduk di Kota Medan dengan menggunakan data historis selama 10 tahun terakhir, seperti jumlah penduduk, laju kelahiran, kematian, dan migrasi. Data tersebut dapat dimasukkan ke dalam model untuk memperkirakan jumlah penduduk di masa depan. Model logistik untuk pertumbuhan penduduk dapat diselesaikan dengan metode Adams-Bashforth-Moulton. Pendekatan ini tergolong dalam kategori *multi-step*, yang memerlukan beberapa penyelesaian awal yang ditemukan menggunakan metode *one-step*. Dengan menerapkan persamaan prediktor-korektor, di mana teknik Adams-Bashforth berlaku sebagai prediktor dan metode Adams-Moulton sebagai korektor, pendekatan Adams-Bashforth-Moulton dapat diterapkan segera tanpa terlebih dahulu menghitung turunan fungsi tersebut.

Tujuan utama penelitian ini adalah untuk menerapkan metode Adams-Bashforth-Moulton dengan perhitungan secara manual dalam memprediksi populasi penduduk di Kota Medan, guna memberikan gambaran mengenai potensi masalah kependudukan yang mungkin muncul seiring dengan pertumbuhan populasi, seperti kemiskinan, kebodohan, dan pengangguran. Model Pertumbuhan Logistik digunakan untuk memahami bagaimana faktor-faktor tersebut mempengaruhi dinamika pertumbuhan penduduk di Indonesia, khususnya di Kota Medan, serta bagaimana rangkaian pertumbuhan penduduk di tahun yang akan datang dapat disusun. Model ini juga memberikan wawasan mengenai pengaruh perubahan lingkungan terhadap pertumbuhan penduduk dan bagaimana kebijakan-kebijakan tertentu dapat membantu dalam mengelola pertumbuhan penduduk di Kota Medan.

2. KAJIAN PUSTAKA

Model Logistik

Model Logistik merupakan sebuah model pertumbuhan populasi yang diperkenalkan oleh Verhulst pada tahun 1838. Model ini mengasumsikan bahwa tidak ada menunda-nunda waktu pada proses dan menggambarkan pertumbuhan populasi yang lebih realistis. Dalam model ini, jumlah populasi akan mengalami perubahan secara monoton, yang artinya jumlah

e-ISSN :3032-7113; p-ISSN :3032-6389, Hal 79-91

populasi dapat terus meningkat (tanpa penurunan) atau terus menurun (tanpa peningkatan). Berikut ini persamaan logistik:

$$\frac{dP}{dt} = m\left(1 - \frac{P}{K}\right)P \qquad (1)$$

Didapatkan solusi analitiknya:

$$P(t) = \frac{K}{1 + Ae^{-mt}} \qquad (2)$$

dengan:

K : kapasitas tampung

$P(t)$: jumlah penduduk pada tahun t

A : nilai awal

m : laju pertumbuhan penduduk

t : periode waktu

Metode Runge-Kutta

Metode Runge-Kutta merupakan sebuah metode sederhana dan efektif, biasanya diterapkan dalam solusi permasalahan persamaan diferensial. Metode berikut dirancang untuk memberikan ketelitian yang lebih tinggi, yang mana untuk mencapainya digunakan nilai fungsi dari titik-titik sembarang yang dipilih dengan suatu interval tertentu (Nugroho, 2009). Salah satu metode yang sering digunakan dalam praktik atau metode yang populer adalah Metode Runge-Kutta orde empat. Metode ini juga sering diterapkan dengan langkah awal untuk memperoleh solusi nilai utama yang akan digunakan dalam metode Adams-Bashforth-Moulton orde empat. Bentuk dari metode Runge-Kutta orde empat adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
k_1 &= hf\left(x_r, y_r\right) \\
k_2 &= hf\left(x_r + \frac{1}{2}h, y_r + \frac{1}{2}k_1\right) \\
k_3 &= hf\left(x_r + \frac{1}{2}h, y_r + \frac{1}{2}k_2\right) \\
k_4 &= hf\left(x_r + h, y_r + k_3\right) \\
y_{r+1} &= y_r + \frac{1}{6}\left(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4\right) \qquad (3)
\end{aligned}$$

Metode Adams Bashforth Moulton

Beberapa solusi awal diperlukan untuk mendapatkan temuan pendekatan Adams-Bashforth-Moulton, yang termasuk dalam kategori prosedur *multi-step*. Teknik satu langkah seperti metode deret Euler, Heun, Runge-Kutta, atau Taylor biasanya digunakan untuk mendapatkan solusi awal ini. Karena metode ini menerapkan persamaan prediktor dan korektor secara langsung tanpa terlebih dahulu menghitung turunan fungsi, metode *multi-step* sering dikatakan sebagai metode prediktor-korektor.

Nilai tersebut diestimasi menggunakan persamaan prediktor, yang juga dikenal sebagai persamaan pertama (untuk mendapatkan perkiraan pertama y_{r+1}). Estimasi tersebut kemudian disempurnakan menggunakan persamaan korektor, yang juga dikenal sebagai persamaan kedua (untuk mendapatkan perkiraan kedua untuk y_{r+1}). Pendekatan Adams-Bashforth-Moulton orde keempat yaitu teknik *multi-step* yang populer. Pendekatan ini menghasilkan jawaban yang lebih akurat karena galat pemotongannya lebih rendah dibandingkan galat pemotongan yang ada pada metode Adams-Bashforth-Moulton orde kedua maupun orde ketiga.

Pada metode ini y_{r+1} diperoleh dari $y_{r+3}, y_{r+2}, y_{r+1}$ dan y_r dengan empat titik data awal $(x_0, y_0),(x_1, y_1),(x_2, y_2),(x_3, y_3)$ yang sudah dihitung menggunakan metode *one-step* yaitu metode Runge-Kutta orde empat untuk menghitung (x_r, y_r) untuk $r \geq 4$ (Bronson dan Costa, 2007). Berikut persamaan prediktor dari metode Adams-Bashforth-Moulton orde empat:

$$y^*_{r+1} = y_r + \frac{h}{24}\left(-9 f_{r-3} + 37 f_{r-2} - 59 f_{r-1} + 55 f_r\right) \qquad (4)$$

Berikut persamaan korektor Metode Adams-Bashforth-Moulton orde empat:

$$y_{r+1} = y_r + \frac{h}{24}\left(f_{r-2} - 5 f_{r-1} + 19 f_r + 9 f^*_{r+1}\right) \qquad (5)$$

dengan

$$f^*_{r+1} = f\left(x_{r+1}, f^*_{r+1}\right) \qquad (6)$$

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan dalam menyelesaikan masalah pertumbuhan penduduk menggunakan data sekunder. Sampel pada penelitian ini diperoleh dari banyaknya jumlah penduduk di Kota Medan Provinsi Sumatera Utara dari tahun 2014-2023. Variabel penelitian yang digunakan yaitu seluruh jumlah penduduk wilayah Kota Medan. Teknik untuk memperoleh data yang digunakan adalah teknik pengambilan data yang didapatkan secara langsung. Data diperoleh dari *website* Badan Pusat Statistik Kota Medan yaitu www.medankota.bps.go.id.

Kemudian dilakukan teknik analisis data sebaga berikut:

1. Data yang digunakan dalam analisis ini meliputi jumlah penduduk dan kapasitas tamping atau luas wilayah di Kota Medan.
2. Masukkan persamaan logistik
$$\frac{dP}{dt} = m\left(1 - \frac{P}{K}\right)P$$
3. Menghitung empat solusi awal P_0, P_1, P_2 dan P_3 dengan metode Runge-Kutta orde empat.
4. $r = 3, 4, ...n$ untuk menghitung nilai-nilai $f_r, f_{r-1}, f_{r-2},$ dan f_{r-3}.
5. Menggunakan persamaan prediktor untuk menghitung solusi numerik menggunakan metode Adams-Bashforth-Moulton.
6. Menghitung $f_{r+1} = f\left(t_{r+1}, P_{r+1}\right)$, kemudian substitusikan ke dalam persamaan prediktor pada metode Adams-Moulton.
7. Koreksi Adams-Moulton diiterasikan pada *r*
$$\frac{\left|P_{r+1} - P^*_{r+1}\right|}{\left|P_{r+1}\right|} < \varepsilon$$
Untuk $k = 1, 2, 3, ...$ dan ε adalah kriteria pemberhentian yang diharuskan.
8. Jika kriteria pemberhentian tidak terpenuhi, maka lakukan analisis kriteria pemilihan ukuran langkah *h* sebagai berikut:
   a. Jika $10^{-1} < \frac{19}{270} . \frac{\left|P_{r+1} - P^*_{r+1}\right|}{\left|P_{r+1}\right|} < 10^{-9}$, maka tahapan selanjutnya digunakan nilai *h* yang sama.
   b. Jika $\frac{19}{270} . \frac{\left|P_{r+1} - P^*_{r+1}\right|}{\left|P_{r+1}\right|} > 10^{-9}$, maka *h* diganti $\frac{h}{2}$ dan kembali ke langkah 3.
   c. Jika $\frac{19}{270} . \frac{\left|P_{r+1} - P*_{r+1}\right|}{\left|P_{r+1}\right|} < 10^{-10}$, maka *h* diganti dengan 2*h* kemudian kembali ke langkah 3.
9. Jika semua memenuhi kriteria maka akan diperoleh hasil solusi numeriknya.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Penduduk Kota Medan

Untuk mendapatkan hasil prakiraan jumlah penduduk Kota Medan, yaitu dengan menentukan data yang akan dipakai antara lain data jumlah penduduk, kapasitas tampung dan laju pertumbuhan Kota Medan sesuai tabel 1 berikut:

Tabel 1 Data Jumlah Penduduk di Kota Medan

No	Tahun	Jumlah Penduduk
1	2014	2.191.140
2	2015	2.210.624
3	2016	2.229.408
4	2017	2.247.425
5	2018	2.264.145
6	2019	2.279.894
7	2020	2.435.252
8	2021	2.460.858
9	2022	2.494.512
10	2023	2.474.166

Sumber : BPS Kota Medan

Penentuan Laju Pertumbuhan

Laju pertumbuhan (*m*) adalah rata-rata laju pertumbuhan penduduk setiap tahun. Dengan memprediksi pertumbuhan penduduk di periode berikutnya, dapat diselesaikan dengan menggunakan persamaan logistik dengan menerapkan Adam Bashforth Moulton sebagai berikut:

$$m = \frac{1}{t} In\left(\frac{P(t)}{P_0}\right)$$

$$m = \frac{1}{1} In\left(\frac{2.210.624}{2.191.140}\right)$$

$$m = 1,0088921748$$

$$m = 0,008$$

$$m = 0,01$$

Penentuan Persamaan Logistik

Laju pertumbuhan dan kapasitas tampung Kota Medan merupakan nilai-nilai yang diperoleh yang kemudian disubstitusikan ke dalam persamaan logistik maka didapatkan persamaan:

$$\frac{dP}{dt} = m\left(1 - \frac{P}{K}\right)P = 0,01\left(1 - \frac{P}{6.627.500}\right)P$$

Penentuan Solusi Awal $P_0,\ P_1,\ P_2,$ dan P_3 Menggunakan Metode Runge-Kutta Orde Empat

Setelah persamaan logistik ditentukan, maka tahapan selanjutnya dapat menentukan nilai penyelesaian awal yaitu $P_0,\ P_1,\ P_2,$ dan P_3 dengan menggunakan metode Runge-Kutta orde empat, maka diketahui nilai awal, nilai interval dan persamaan logistik. Diketahui nilai awal $P(0) = 2.191.140$ dengan interval $[0,15]$ dengan ukuran langkah $h = 1$.

a) Untuk $r = 0,\ t_0 = 0,\ P_0 = 2.191.140$

Menghitung $K_1,\ K_2,\ K_3$ dan K_4 untuk menghitung solusi awal P_1 sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
K_1 &= hf\left(t_r, P_r\right) \\
K_1 &= hf\left(t_0, P_0\right) \\
&= hf\left(0; 2.191.140\right) \\
&= 1\left[0,01\left(1 - \frac{2.191.140}{6.627.500}\right)2.191.140\right] \\
&= 14.667,19857
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
K_2 &= hf\left(t_r + \frac{1}{2}h, P_r + \frac{1}{2}K_1\right) \\
K_2 &= hf\left(t_0 + \frac{1}{2}h, P_0 + \frac{1}{2}K_1\right) \\
&= hf\left(0,5; 2.198.473\right) \\
&= 14.691,95968
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
K_3 &= hf\left(t_0 + \frac{1}{2}h, P_0 + \frac{1}{2}K_2\right) \\
&= hf\left(1,5; 2.198.485\right) \\
&= 14.692,00006
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
K_4 &= hf\left(t_r + h, P_r + K_3\right) \\
K_4 &= hf\left(t_0 + h, P_0 + K_3\right) \\
&= hf\left(1; 2.205.832\right) \\
K_4 &= 14.716,64544
\end{aligned}$$

Kemudian subtitusikan nilai $K_1,\ K_2,\ K_3,$ dan K_4 ke persamaan Runge-Kutta orde empat:

$$P_{r+1} = P_r + \frac{1}{6}\left(K_1 + 2K_2 + 2K_3 + K_4\right)$$

$$P_1 = P_0 + \frac{1}{6}\left(K_1 + 2K_2 + 2K_3 + K_4\right)$$

$$= 2.191.140 + \frac{1}{6}\left(14.667{,}19857 + 2\left(14.691{,}95968\right) + 2\left(14.692{,}00006\right) + 14.716{,}64544\right)$$

$$= 2.205.830$$

b) Untuk $r = 1,\ t = 1,\ P_1 = 2.205.830$

$$t_{r+1} = t_r + h$$

$$t_{0+1} = t_0 + h$$

$$t_1 = 0 + 1 = 1$$

Untuk menghitung solusi awal P_2, maka lebih awal menghitung $K_1,\ K_2,\ K_3,$ dan K_4 sebagai berikut:

$$K_1 = hf\left(t_1; P_1\right)$$

$$= hf\left(1; 2.205.830\right)$$

$$= 14.716{,}63876$$

$$K_2 = hf\left(t_1 + \frac{1}{2}h, P_1 + \frac{1}{2}K_1\right)$$

$$= hf\left(1{,}5; 2.213.188\right)$$

$$= 14.741{,}15782$$

$$K_3 = hf\left(t_1 + \frac{1}{2}h, P_1 + \frac{1}{2}K_2\right)$$

$$= hf\left(1{,}5; 2.213.200\right)$$

$$= 14.741{,}26459$$

$$K_4 = hf\left(t_1 + h, P_1 + K_3\right)$$

$$= hf\left(1; 2.220.571\right)$$

$$= 14.765{,}59598$$

Kemudian subtitusikan nilai $K_1,\ K_2,\ K_3,$ dan K_4 ke persamaan Runge-Kutta orde empat:

$$P_2 = P_1 + \frac{1}{6}\left(K_1 + 2K_2 + 2K_3 + K_4\right)$$

$$P_2 = 2.220.570$$

c) Untuk $r = 2,\ t = 2,\ P_1 = 2.220.570$

$t_{r+1} = t_r + h$
$t_{1+1} = t_1 + h$
$t_2 = 1 + 1 = 2$

Untuk menghitung penyelesaian awal P_2, maka lebih awal menghitung $K_1,\ K_2,\ K_3,$ dan K_4 sebagai berikut:

$$
\begin{aligned}
K_1 &= hf\left(t_2; P_2\right) \\
&= hf\left(2; 2.220.570\right) \\
&= 14.765,66004 \\
K_2 &= hf\left(t_2 + \frac{1}{2}h, P_2 + \frac{1}{2}K_1\right) \\
&= hf\left(2,5; 2.227.952\right) \\
&= 14.789,86309 \\
K_3 &= hf\left(t_2 + \frac{1}{2}h, P_2 + \frac{1}{2}K_2\right) \\
&= hf\left(2,5; 2.227.964\right) \\
&= 14.789,90241 \\
K_4 &= hf\left(t_2 + h, P_2 + K_3\right) \\
&= hf\left(3; 2.235.359\right) \\
&= 14.814,05042
\end{aligned}
$$

Kemudian subtitusikan nilai $K_1,\ K_2,\ K_3,$ dan K_4 ke persamaan Runge-Kutta orde empat:

$$P_3 = P_2 + \frac{1}{6}\left(K_1 + 2K_2 + 2K_3 + K_4\right)$$
$$P_3 = 2.235.360$$

Penentuan Solusi Numerik Dengan Metode Adams-Bashforth

Setelah nilai solusi awal didapatkan, maka tahap berikutnya adalah menstubtitusikan ke persamaan logistic untuk menghitung nilai-nilai $f_r, f_{r-1}, f_{r-2}, f_{r-3}$.

$$P = \frac{dP}{dt} = 0,01\left(1 - \frac{P}{6.627.500}\right)P$$

Dengan $r = 3$ maka diperoleh sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
f_r &= f_3(t_3, P_3) \\
&= f_3(3; 2.235.360) \\
&= \left[1\left(0,01\left(1-\frac{2.235.360}{6.627.500}\right)2.235.360\right)\right] \\
&= 14.814,05367
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
f_{r-1} &= f_2(t_2, P_2) \\
&= f_2(2; 2.220.570) \\
&= \left[1\left(0,01\left(1-\frac{2.220.570}{6.627.500}\right)2.220.570\right)\right] \\
&= 14.765,59268
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
f_{r-2} &= f_1(t_1, P_1) \\
&= f_1(1; 2.205.830) \\
&= \left[1\left(0,01\left(1-\frac{2.205.830}{6.627.500}\right)2.205.830\right)\right] \\
&= 14.716,63876
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
f_{r-3} &= f_0(t_0, P_0) \\
&= f_0(0; 2.191.140) \\
&= \left[1\left(0,01\left(1-\frac{2.191.140}{6.627.500}\right)2.191.140\right)\right] \\
&= 14.667,19857
\end{aligned}$$

Setelah memakai metode Runge-Kutta dalam persamaan logistik maka diperoleh nilai solusi awal.

Tabel 2 Solusi awal menggunakan metode Runge-Kutta

R	t_r	*h=1*	
		P_r	$P = f(t,P) = 0,01\left(1-\frac{P}{6.627.500}\right)P$
0	0	2.191.140	14.667,19857
1	1	2.205.830	14.716,63876
2	2	2.220.570	14.765,59268
3	3	2.235.360	14.814,05367

Dapat dilanjutkan dengan menentukan penyelesaian numerik dengan metode Adam Bashforth dengan $r = 3$

$$P_{r+1}^{*} = P_r + \frac{h}{24}\left(55 f_r - 59 f_{r-1} + 37 f_{r-2} - 9 f_{r-3}\right)$$

$$P_{3+1}^{*} = P_3 + \frac{h}{24}\left(55 f_r - 59 f_{r-1} + 37 f_{r-2} - 9 f_{r-3}\right)$$

$$P_4^{*} = 2.235.360 + \frac{1}{24}\left(55\left(14.814,05367\right) - 59\left(14.765,59268\right) + 37\left(14.716,63876\right) - 9\left(14.667,19857\right)\right)$$

$$P_4^{*} = 2.250.198,07628$$

Koreksi Adams-Moulton

Nilai f_{r+1} yang telah didapatkan kemudian disubstitusikan ke dalam persamaan Adams-Moulton, dibandingkan dengan kriteria pemberhentiannya dan dihitung galat relatifnya sebagai berikut:

$$f_4^{*} = \left(t_4, P_4^{*}\right) = f_4\left(4; 2.250.198,07628\right)$$

$$f_4^{*} = \left[\left(0,01\left(1 - \frac{2.250.198,07628}{6.627.500}\right)2.250.198,07628\right)\right]$$

$$f_4^{*} = 14.862,008853964$$

Untuk $r = 3, t_4 = 4, P_3 = 2.235.360$

$$P_{r+1} = P_r + \frac{h}{24}\left(f_{r-2} - 5 f_{r-1} + 19 f_r + 9 f_{r+1}\right)$$

$$P_{3+1} = P_3 + \frac{h}{24}\left(f_1 - 5 f_2 + 19 f_3 + 9 f_4\right)$$

$$P_4 = 2.235.360 + \frac{1}{24}\left(356.125,78668\right)$$

$$P_4 = 2.250.198,073949$$

Selanjutnya analisis kriteria khusus langkah awal dengan kriteria pemberhentian $\varepsilon = 5 \times 10^{-9}$, iterasi dapat diteruskan hingga mencapai iterasi ke-15 apabila ciri pemberhentiannya lebih besar daripada galat relatifnya.

$$\left|\frac{P_4 - P_4^{*}}{\left|P_4\right|}\right| = \left|\frac{2.250.198,574445 - 2.250.614,7429467}{2.250.198,574445}\right|$$

$$= 1,03591 \times 10^{-9}$$

Karena pemberhentiannya sudah lebih besar dibandingkan galat relatifnya, maka iterasi ke 15 bisa lakukan.

Tabel 3 Solusi numerik menggunakan metode Adam Bashforth Moulton dalam persamaan logistik bagi pertumbuhan penduduk di Kota Medan

Tahun	t_r	$h=1$		Galat relatif
		P_r^*	$P_r\left(\text{jiwa}\right)$	
2014	0		2.191.140	
2015	1		2.205.830	
2016	2		2.220.570	
2017	3		2.235.360	
2018	4	2.250.198,07628	2.250.198,073949	$1,03591\times10^{-9}$
2019	5	2.265.083,8447993	2.265.083,8467596	
2020	6	2.280.016,8013704	2.280.016,8012226	
2021	7	2.294.996,4118097	2.294.996,4118247	
2022	8	2.310.022,1450725	2.310.022,1450933	
2023	9	2.325.093,3145325	2.325.093,4594811	
2024	10	2.340.209,8060371	2.340.209,8057046	
2025	11	2.355.370,6271586	2.355.370,6317678	
2026	12	2.370.575,3635232	2.370.575,3635338	
2027	13	2.385.823,4256444	2.385.823,4330046	
2028	14	2.401.124,260089	2.401.114,2704383	
2029	15	2.416.447,2675777	2.416.447,2675717	

Dari hasil yang diperoleh, maka dapat dilihat bahwa setiap tahunnya pertumbuhan penduduk Kota Medan mengalami peningkatan, seperti tabel dibawah ini:

Tabel 4 prediksi Pertumbuhan Penduduk Kota Medan dari Tahun 2023-2029

No	Tahun	Pertambahan Penduduk
1	2023-2024	15.116,3462235
2	2024-2025	15.160,8260632
3	2025-2026	15.204,731766
4	2026-2027	15.248,0694708
5	2027-2028	15.290,8374337
6	2028-2029	15.332,9971334

5. KESIMPULAN

Penelitian ini menerapkan metode Adams-Bashforth-Moulton dalam memodelkan pertumbuhan penduduk di Kota Medan, menggunakan data historis dari tahun 2014 hingga 2023. Metode ini berhasil digunakan untuk memprediksi populasi masa depan dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti laju kelahiran, kematian, dan migrasi. Hasil analisis menunjukkan bahwa Kota Medan mengalami pertumbuhan penduduk yang signifikan, yang berpotensi menimbulkan masalah sosial seperti kemiskinan dan pengangguran. Berdasarkan pada tujuan yang didapatkan, maka dapat disimpulkan bahwa Persamaan Logistik menggunakan metode Adams-Bashforth-Moulton mampu mempresentasikan pertumbuhan penduduk dengan menggunakan data sebelumnya untuk memprediksi nilai selanjutnya. Hasil pertumbuhan penduduk di Kota Medan pada tahun 2023-2024 bertambah 15.116,3462235 jiwa, tahun 2024-2025 bertambah 15.160,8260632 jiwa, pada tahun 2025-2026 bertambah menjadi 15.204,731766 jiwa, pada tahun 2026-2027 bertambah 15.248,0694708 jiwa, pada tahun 2027-2028 bertambah 15.290,8374337 jiwa, dan Pada Tahun 2028-2029 bertambah menjadi 15.332,9971334 jiwa.

DAFTAR PUSTAKA

Apriani, D., Wasono, & Huda, M. N. (2022). Penerapan metode Adams-Bashforth-Moulton pada persamaan logistik dalam memprediksi pertumbuhan penduduk di Provinsi Kalimantan Timur. Jurnal Eksponensial, 13(2), 95–102.

Bronson, R., & Costa, J. (2007). Introduction to mathematical methods in the applied sciences. Wiley-Interscience.

Mankiw, N. G. (2003). Pengantar ekonomi (H. Munandar, Trans.). Erlangga.

Nugroho, R. (2009). Metode Runge-Kutta dalam pemecahan persamaan diferensial. PT. Raja Grafindo Persada.

Raming, I., Wirawan, A. S., Syaripuddin, Putri, A. A., Aslina, Syahputra, D. R., Dala, M. A. D., & Avrilia, M. P. (2024). Pemetaan pertumbuhan penduduk di Kota Samarinda melalui pemodelan logistik dengan metode Adams-Bashforth-Moulton. Journal of Mathematics, Computations, and Statistics, 7(1), 133–143.

Riska, P., Noviani, E., & Yudhi. (2022). Prediksi jumlah penduduk dengan persamaan logistik menggunakan metode Adams-Bashforth-Moulton. Jurnal Ilmiah Mat. Stat dan Terapannya (Bimaster), 11(1), 159–166.

Sari, A. K., Widyasari, R., & Cipta, H. (2024). Persamaan logistik menggunakan metode Adams-Bashforth-Moulton dalam memprediksi jumlah penduduk di Indonesia. Jurnal Ilmiah Pendidikan Matematika, Matematika, dan Statistika, 5(1), 111–119.

Suryani, I., Suprianto, A., Wartono, & Rahmadeni. (2023). Menggunakan metode Milne-Simpson dan Adams-Bashforth-Moulton. Jurnal Sains Matematika dan Statistika, 9(1), 27–36.

Verhulst, P. F. (1838). Notice sur la loi que la population suit dans son accroissement. Correspondance Mathématique et Physique, 10, 113–121.

World Bank. (1994). Infrastructure for development. Oxford University Press.