

PENERAPAN MODEL POPULASI KONTINU PADA PERHITUNGAN PROYEKSI PENDUDUK (STUDI KASUSDI KECAMATAN SINONSAYANG)

APPLICATION OF CONTINUOUS POPULATION MODEL IN POPULATION PROJECTION CALCULATION (CASE STUDY IN SINONSAYANG SUB-DISTRICT)

James U.L. Mangobi¹, Santje M. Salajang², Irfan Goguy³

Universitas Negeri Manado
Jl. Kampus Unima, Tonsaru,
Tondano Selatan, Minahasa,
Sulawesi Utara, Indonesia.
jamesmangobi@unima.ac.id

² Universitas Negeri Manado
Jl. Kampus Unirna, Tonsaru,
Tondano Selatan, Minahasa,
Sulawesi Utara, Indonesia.
santjesalajang@unima.ac.id

³ Universitas Negeri Manado
Jl. Kampus Unima, Tonsaru,
Tondano Selatan, Minahasa,
Sulawesi Utara, Indonesia.
goguyuiran997@gmail.com

ABSTRACT

Population projections are scientific estimates based on assumptions about the factors that contribute to population growth rates, such as migration, births, and deaths. They are not population predictions. The future population's size and age distribution are determined by these three factors. Data describing trends from the past to the present are needed to make estimates about the pace of development of future births, deaths, and movements. The goal of this study is to use the logistic and exponential growth models to project the population growth in Sinonsayang Subdistrict. BPS Sinonsayang Subdistrict provided the population census data for Sinonsayang Subdistrict from 2016 to 2022. Both logistic and exponential models are used to model data analysis procedures. The model that was chosen was based on the findings.

Keywords : *Exponential Model, Logistic Model*

1. PENDAHULUAN

Populasi mencakup seluruh individu atau kelompok yang tinggal di wilayah atau daerah tertentu. Pertumbuhan jumlah penduduk di suatu wilayah secara berkelanjutan dipengaruhi oleh angka kelahiran dan dikurangi oleh jumlah kematian di semua kelompok usia. Namun, kepadatan tinggi dan laju pertumbuhan penduduk yang cepat dapat menimbulkan berbagai permasalahan dalam aspek kehidupan. Salah satu isu terbesar dunia saat ini adalah peningkatan pesat jumlah penduduk di negara-negara berkembang ^[1].

Pertumbuhan penduduk memainkan peran penting dalam pembangunan dan kesejahteraan suatu wilayah. Ketika jumlah penduduk terlalu tinggi, muncul risiko masalah seperti tingginya pengangguran, kemiskinan, kelaparan, kemacetan, kekurangan lahan, masalah keamanan, serta peningkatan kebutuhan pangan dan lapangan pekerjaan. Namun, dampak negatif ini bisa diminimalkan jika sarana yang memadai disiapkan untuk mengantisipasi.

Salah satu solusi yang dapat digunakan untuk mengurangi dampak negatif dari pertumbuhan penduduk adalah proyeksi penduduk ^[2]. Proyeksi penduduk adalah proses memperkirakan jumlah penduduk dalam periode waktu tertentu berdasarkan asumsi kematian, migrasi, dan kelahiran. Untuk proyek ini berhasil, diperlukan model matematis yang dapat menilai kondisi saat ini, terutama terkait dengan pertumbuhan suatu wilayah dari hari ke hari.

Data dari Badan Pusat Statistik menunjukkan bahwa jumlah penduduk di Kecamatan Sinonsayang mengalami peningkatan setiap tahun, sehingga diperlukan model proyeksi untuk memperkirakan jumlah penduduk di tahun mendatang. Salah satu pendekatannya adalah model populasi kontinu, yang mencakup model pertumbuhan eksponensial dan logistik. Malthus mengemukakan model eksponensial sebagai model pertumbuhan populasi yang menggambarkan kondisi ideal tanpa batasan

lingkungan^[1]. Meskipun model eksponensial dapat digunakan untuk memprediksi jumlah penduduk, pendekatan lain dibutuhkan untuk memperhitungkan keterbatasan sumber daya dan kondisi biologis. Hal ini mengarah pada model logistik, yang memperhitungkan faktor pembatas sumber daya, sehingga populasi tidak akan tumbuh secara tak terbatas^[3]. Model logistik dianggap lebih mendekati kenyataan karena mempertimbangkan faktor penghambat yang membatasi jumlah populasi^[4].

Model logistik masih dianggap paling sesuai dengan keadaan nyata, sehingga masalah yang dirumuskan dalam penelitian ini adalah bagaimana penerapan model populasi kontinu dalam menghitung proyeksi penduduk (Studi Kasus Kecamatan Sinonsayang). Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan laju pertumbuhan dan jumlah penduduk pada tahun 2030 menggunakan model eksponensial, serta menentukan laju pertumbuhan dan jumlah penduduk dengan model logistik dalam kajian penerapan model populasi kontinu pada proyeksi penduduk di Kecamatan Sinonsayang.

2. KAJIAN PUSTAKA

Pertumbuhan Penduduk

Pertumbuhan penduduk merupakan penambahan jumlah penduduk pada suatu wilayah dalam waktu tertentu yang terus menerus akan dipengaruhi oleh jumlah kelahiran bayi dan akan dikurangi oleh jumlah kematian pada semua golongan umur. Laju pertumbuhan penduduk sebanding dengan jumlah penduduk dalam model eksponensial^[5]. Pertumbuhan penduduk merupakan suatu proses yang bersifat kontinu. Model populasi kontinu berarti populasi bergantung waktu tanpa putus^[6].

Persamaan diferensial

Persamaan diferensial adalah persamaan yang melibatkan turunan suatu fungsi dari satu variabel terikat terhadap variabel bebas. Dalam persamaan ini, terdapat sekurang-kurangnya satu turunan dari fungsi yang belum diketahui^[7]. Beberapa ahli juga mendefinisikan persamaan diferensial sebagai persamaan yang mencakup turunan atau diferensial dari suatu fungsi^[8]. Berdasarkan pendapat tersebut, dapat disimpulkan bahwa persamaan diferensial adalah suatu persamaan yang memuat satu atau lebih turunan. Persamaan diferensial dapat ditulis dalam bentuk rumus sebagai berikut:

$$a_0(x)y^{(n)} + a_1(x)y^{(n-1)} + \dots + a_n(x)y = F(x) \quad (1)$$

Laju pertumbuhan intrinsik adalah kecepatan penambahan ukuran suatu populasi ketika tidak ada faktor-faktor yang membatasi atau bergantung pada jumlah populasi tersebut^[9]. Jika $\left(\frac{dn}{dt}\right)$ mewakili laju pertumbuhan populasi, N adalah ukuran populasi, dan r adalah laju pertumbuhan intrinsik, maka hubungan tersebut dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$\frac{1}{N} \frac{dN}{dt} = r \quad (2)$$

Model Populasi Kontinu

1. Model Ekponensial

Model eksponensial menggambarkan pertumbuhan populasi dalam kondisi ideal dengan ketersediaan sumber daya yang tidak terbatas^[1]. Model ini digunakan untuk memperkirakan populasi dengan laju pertumbuhan yang konstan, di mana $P(t)$ mewakili jumlah populasi yang bertambah^[10]. Jika diasumsikan $P(t)$ adalah fungsi yang dapat diturunkan terhadap waktu dan merupakan fungsi

kontinu, maka $\frac{dN}{dt}$, atau laju perubahan populasi, akan sebanding dengan jumlah populasi saat itu. Jika $N(t)$ menyatakan jumlah populasi pada waktu t , maka model eksponensial dapat dituliskan sebagai:

$$\frac{dN}{dt} - rN = 0 \text{ atau } \frac{dN}{dt} = rN(t). \quad (3)$$

Dalam model pertumbuhan populasi, $N(t)$ melambangkan kerapatan populasi atau jumlah populasi pada waktu t jam, N_0 adalah jumlah populasi awal, sementara t adalah waktu t dalam jam, parameter r dikenal sebagai laju pertumbuhan (*Malthusian Parameter*)^[11]. Namun, ketika daya dukung lingkungan berkurang akibat peningkatan populasi, model Malthus $\frac{dN}{dt} = rN(t)$ perlu dimodifikasi. Jika populasi

N bertambah dalam wilayah yang terbatas, kepadatan populasi akan menimbulkan berbagai masalah. Untuk mengatasi ini, diasumsikan bahwa $f(N)$ adalah fungsi linear dengan a sebagai faktor yang menunjukkan penurunan proporsional dalam laju pertumbuhan.

$$f(N) = r - aN, r, a > 0, N > 0 \quad (4)$$

$$\frac{dN}{dt} = N(r - aN) \quad (5)$$

$$\frac{dN}{dt} = rN(t) \quad (6)$$

$$N(t) = e^{rt+c} \quad (7)$$

Jika $t = 0$ dan $N(0) = N_0$ maka diperoleh nilai $c = \ln N_0$, jika c disubstitusikan ke (7) maka

$$N(t) = N_0 e^{rt} \quad (8)$$

Dari persamaan (7) didapatkan Model eksponensial memiliki solusi khusus di mana jika r bernilai positif, populasi akan meningkat secara eksponensial, sedangkan jika r bernilai negatif, populasi akan menurun menuju kepunahan.

2. Model Logistik

Model logistik menggambarkan pertumbuhan populasi dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti ketersediaan makanan dan ruang hidup. Model ini mengasumsikan bahwa laju pertumbuhan rata-rata bergantung pada ukuran populasi atau laju pertumbuhan per kapita^[3] Seiring waktu, jumlah populasi akan mendekati titik keseimbangan (equilibrium). Penggunaan model logistik didasarkan pada kenyataan bahwa ukuran populasi bergantung pada tingkat kepadatan, yang menyebabkan laju kelahiran dan kematian bervariasi dan tidak tetap. Bentuk sederhana dari laju pertumbuhan yang mencerminkan asumsi ini adalah:

$$\frac{1}{N} \frac{dN}{dt} = k \left(1 - \frac{N}{K}\right) \quad (9)$$

Jika persamaan logistik dikalikan dengan N , kita akan mendapatkan model persamaan diferensial logistik lengkap, yang menggambarkan pertumbuhan populasi dengan batasan daya dukung lingkungan. Persamaan logistik ini dapat dituliskan sebagai:

$$\frac{dN}{dt} = rN\left(1 - \frac{N}{K}\right) \quad (10)$$

Dengan r sebagai laju pertumbuhan dan K sebagai kapasitas tampung populasi yang membatasi pertumbuhan populasi saat $t \rightarrow \infty$, dan N sebagai ukuran populasi, kita dapat menganalisis persamaan logistik. Dari persamaan tersebut diketahui bahwa jika N jauh lebih kecil dari pada K , maka N/K mendekati 0 dan $dN/dt \approx m$. Jika $N \rightarrow K$ (populasi semakin mengarah pada kapasitas tampung), sehingga $N/K \rightarrow 1$, maka $\frac{dN}{dt} \rightarrow 0$. Jika populasi N berada diantara 0 dan K , maka ruas kanan bernilai dengan catatan r positif, sehingga $\frac{dN}{dt} \rightarrow 1$ Populasi melebihi naik. Apabila populasi melebihi beban tampung ($N > K$), $1 - \frac{N}{K}$ bernilai negatif, maka $\frac{dN}{dt} < 0$ sehingga populasi akan turun. Solusi persamaan logistik yaitu:

$$N = \frac{Ke^{rt+c}}{1+e^{rt+c}} \quad (11)$$

Dari persamaan (9) apabila ditambahkan nilai awal $t = 0$ dan $N(0) = N_0$ lalu disubstitusikan ke (10) maka akan diperoleh nilai $c = \ln\left(\frac{N_0}{K} - N_0\right)$ selanjutnya nilai c disubstitusikan ke (11), diperoleh solusi khusus model logistik yaitu:

$$N(t) = \frac{k}{e^{-rt}\left(\frac{K}{N_0}-1\right)+1} \quad (12)$$

Dalam persamaan logistik yang digunakan untuk proyeksi penduduk, N diartikan sebagai jumlah populasi awal pada waktu $t=0$, K adalah daya tampung populasi atau kapasitas dukung lingkungan, r adalah laju pertumbuhan populasi, dan t adalah waktu. *Carrying capacity* atau kapasitas daya dukung K adalah nilai batas atas yang menunjukkan jumlah maksimum populasi yang dapat didukung oleh lingkungan seiring waktu dan rumus dari *Carrying capacity* ini adalah:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} N(t) = \frac{a}{b} = \frac{N_1(2N_0N_2 - N_2N_1 - N_0N_1)}{N_0N_2 - N_1^2} \quad (13)$$

MAPE (Mean Absolut Percentage Error)

Hasil perhitungan menggunakan kedua model pertumbuhan populasi, yaitu model eksponensial dan model logistik, akan dibandingkan untuk menentukan model mana yang lebih akurat dalam memprediksi jumlah penduduk Kecamatan Sinonsayang pada tahun-tahun berikutnya, khususnya pada tahun 2030. Model yang terbaik adalah model yang menghasilkan data yang paling mendekati data aktual, dengan galat (error) yang minim. Untuk mengukur akurasi model, salah satu metode yang umum digunakan adalah MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*). Secara matematis, MAPE dapat dihitung dengan rumus:

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum \frac{|x_i - F_i|}{x_i} \times 100\% \quad (14)$$

x_i = data sebenarnya,

F_i = data prediksi

Nilai MAPE (Mean Absolute Percentage Error) yang terkecil menunjukkan model dengan error persentase yang lebih kecil, yang berarti model tersebut lebih akurat dalam memprediksi data. Model yang menghasilkan nilai MAPE terkecil dianggap sebagai yang terbaik untuk digunakan dalam peramalan populasi. Penjelasan tentang nilai MAPE dapat dilihat pada Tabel 1, yang mengklasifikasikan akurasi model berdasarkan rentang nilai MAPE sebagai berikut^[12].

Tabel 1 Indikator Nilai MAPE

< 10%	Sangat Akurat
10% - 20%	Baik
21% -50%	Wajar
> 51%	Tidak Akurat

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif deskriptif yakni studi kasus yang dilakukan di Kecamatan Sinonsayang Kabupaten Minahasa Selatan dan dilakukan di semester ganjil tahun 2024-2025 dengan teknik pengambilan data yakni melalui observasi di Kecamatan Sinonsayang yang kemudian dilanjutkan dengan melakukan dokumentasi di kantor Kecamatan Sinonsayang untuk memperoleh data penduduk dari tahun 2016-2022 melalui Badan Pusat Statistik (BPS) di Kecamatan Sinonsayang.

Tabel 2 Data jumlah penduduk kecamatan Sinonsayang tahun 2016-2022

Tahun	JumlahPenduduk
2016	15.511
2017	15.525
2018	15.544
2019	17.780
2020	18.860
2021	18.860
2022	19.368

Sumber: Badan Pusat Statistik (BPS) Kecamatan Sinonsayang ^[13].

Adapun teknik analisis data yang digunakan dalam penelitian ini melalui beberapa tahapan seperti:

1. Mengkonstruksi model eksponensial dan logistik
2. Mencari solusi $\frac{dN}{dt} = rN(t)$ dan $\frac{dN}{dt} = rN(1 - \frac{N}{K})$,
3. Mencari waktu saat t,
4. Menghitung jumlah populasi awal serta populasi pada tahun selanjutnya
5. Mencari *carrying capacity*,
6. Menentukan laju pertumbuhan,
7. Menghitung jumlah penduduk dengan model logistik,

8. Membandingkan seberapa akurat nilai estimasi penduduk menggunakan model eksponensial dan logistik,
9. Membandingkan hasil perhitungan yang mendekati galat terkecil dengan data sebenarnya,
10. Menentukan proyeksi jumlah penduduk di Kecamatan Sinonsayang tahun 2030 ^[14].

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Model Eksponensial Pertumbuhan Populasi

Asumsi yang digunakan dalam estimasi pertumbuhan populasi secara eksponensial adalah sebagai berikut:

- Tingkat kelahiran dan kematian dianggap tetap.
- Tidak ada perbedaan dalam struktur genetik.
- Tidak ada pembagian berdasarkan umur atau ukuran individu.
- Tidak ada penundaan waktu dalam respon terhadap perubahan.

Untuk mengestimasi jumlah populasi menggunakan perhitungan model pertumbuhan eksponensial, digunakan konsep $\frac{dN}{dt} - kN = 0$ dengan terlebih dahulu mencari nilai k (konstanta proporsional) dan menganggap jumlah penduduk pada tahun 2016 adalah nilai $N(0)$ (populasi awal, yaitu populasi pada tahun 2016) dan $N(t)$ melambangkan jumlah penduduk setelah t tahun dari tahun 2016.

Tabel 3 Jumlah Penduduk Kecamatan Sinonsayang $N(t)$ untuk tahun ke- t

Tahun ke- t	$N(t)$
$t = 0$	15.511
$t = 1$	15.525
$t = 2$	15.544
$t = 3$	17.780
$t = 4$	18.860
$t = 5$	18.860
$t = 6$	19.368

Laju pertumbuhan penduduk r diperlukan dalam mengonstruksi model eksponensial. Untuk $t = 0$ dan $N(0) = 15.511$ serta $t = 1$ dan $N(1) = 15.525$, maka diperoleh laju pertumbuhan penduduk $r = 0,0009021$. Dengan mensubstitusikan nilai r ini ke persamaan, diperoleh model eksponensial.

- Model Eksponensial I bentuk persamaannya, $N(t) = 15.511e^{0,0009021t}$
- Model Eksponensial II bentuk persamaannya, $N(t) = 15.511e^{0,0010625t}$
- Model Eksponensial III bentuk persamaannya, $N(t) = 15.511e^{0,0455083t}$
- Model Eksponensial IV bentuk persamaannya, $N(t) = 15.511e^{0,0488735t}$
- Model Eksponensial V bentuk persamaannya, $N(t) = 15.511e^{0,0390988t}$
- Model Eksponensial VI bentuk persamaannya, $N(t) = 15.511e^{0,0370122t}$

Dalam Tabel 4 ini, disertakan jumlah penduduk data BPS agar dapat dilihat perbandingan jumlah penduduk *real* dengan proyeksinya.

Tabel 4 Model Eksponensial berdasarkan Laju Pertumbuhan Penduduk

Tahun	Jumlah Penduduk						
	Data BPS	ME-1	ME-2	ME-3	ME-4	ME-5	ME-6
2016	15.511	15.511	15.511	15.511	15.511	15.511	15.511
2017	15.525	15.525	15.527	16.233	16.288	16.130	16.096
2018	15.544	15.540	15.544	16.989	17.104	16.773	16.703
2019	17.780	15.553	15.560	17.780	17.960	17.441	17.333
2020	18.860	15.567	15.577	18.608	18.860	18.137	17.986
2021	18.860	15.581	15.594	19.474	19.805	18.860	18.664
2022	19.368	15.595	15.562	20.381	20.797	19.612	19.368

Hasil perhitungan galat model eksponensial dalam % disajikan dalam tabel 5

Tabel 5 Galat Model Eksponensial

Tahun	Galat %					
	Model I	Model II	Model III	Model IV	Model V	Model VI
2016	0	0	0	0	0	0
2017	0	0,000129	0,045604	0,049147	0,038969	0,036779
2018	0,000257	0	0,092962	0,10036	0,079066	0,074563
2019	0,125253	0,124859	0	0,010124	0,019066	0,025141
2020	0,174602	0,174072	0,013362	0	0,038335	0,046341
2021	0,17386	0,173171	0,032556	0,050106	0	0,010392
2022	0,194806	0,19651	0,052303	0,073781	0,012598	0
$\sum \frac{Galat}{n}$	9,553,981	955,344	3,382,655	4,050,258	2,686,212	2,760,234

Perolehan nilai galat model eksponensial di tunjukan dalam Tabel 5 sehingga nilai galat terkecil dapat dilihat pada model eksponensial V.

B. Model Logistik Pertumbuhan Populasi

Jumlah penduduk kecamatan Sinonsayang sejak tahun 2016-2022 masih berada di bawah 100.000 maka diasumsikan nilai kapasitas daya tampungnya $K = 100.000$, sehingga jika nilai $N(0)$ dan nilai K disubtitusikan ke dalam persamaan (15) akan diperoleh:

$$N(t) = \frac{100.000}{(5.44704)e^{-rt} + 1} \quad (15)$$

Selanjutnya dari persamaan (15) akan dicari model logistik yang dapat mewakili laju pertumbuhan penduduk Kecamatan Sinonsayang. Untuk $t = 1$ maka $N(1) = 15.525$, jika disubtitusikan ke persamaan (15) diperoleh Model Logistik, yaitu:

- Model Eksponensial I dengan $r = 0.00106834$ bentuk persamaannya, $N(t) = \frac{100.000}{(5.44704)e^{-0.00106834t} + 1}$

- Model Eksponensial II dengan $r = 0.00125818$, bentuk persamaannya, $N(t) = \frac{100.000}{(5.44704)e^{-0.00125818t}+1}$
- Model Eksponensial III dengan $r = 0.0545827$, bentuk persamaannya, $N(t) = \frac{100.000}{(5.44704)e^{-0.0545827t}+1}$
- Model Eksponensial IV dengan $r = 0.0589849$, bentuk persamaannya, $N(t) = \frac{100.000}{(5.44704)e^{-0.0589849t}+1}$
- Model Eksponensial V dengan $r = 0.0471879$, bentuk persamaannya, $N(t) = \frac{100.000}{(5.44704)e^{-0.0471879t}+1}$
- Model Eksponensial VI dengan $r = 0.0447998$, bentuk persamaannya, $N(t) = \frac{100.000}{(5.44704)e^{-0.0447998t}+1}$

Berikut jumlah penduduk kecamatan Sinonsayang dari tahun 2016-2022 yang dihasilkan dari keenam model di atas.

Tabel 6 Model Eksponensial berdasarkan Laju Pertumbuhan Penduduk

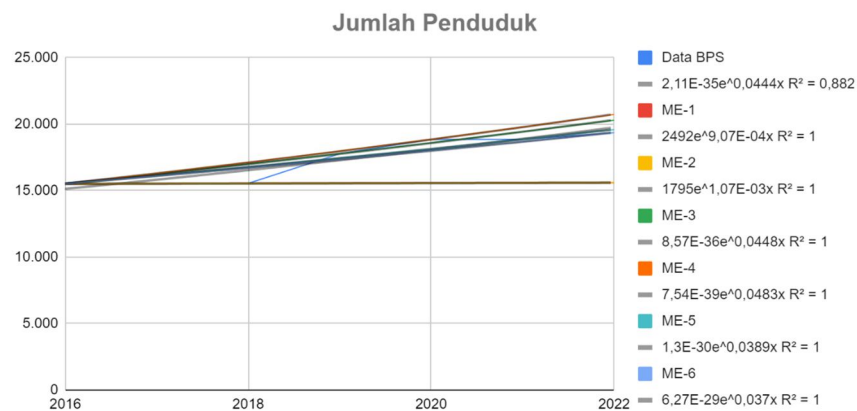
Tahun	Jumlah Penduduk						
	Data BPS	ML-1	ML-2	ML-3	ML-4	ML-5	ML-6
2016	15.511	15.510	15.510	15.510	15.510	15.510	15.510
2017	15.525	15.525	15.527	16.239	16.299	16.139	16.107
2018	15.544	15.539	15.544	16.996	17.120	16.788	16.721
2019	17.780	15.553	15.560	17.780	17.973	17.458	17.355
2020	18.860	15.567	15.577	18.592	18.860	18.148	18.007
2021	18.860	15.581	15.593	19.432	19.779	18.80	18.677
2022	19.368	15.595	15.610	20.301	20.731	19.592	19.368

Dengan nilai galat proyeksi jumlah penduduk tiap model menggunakan MAPE.

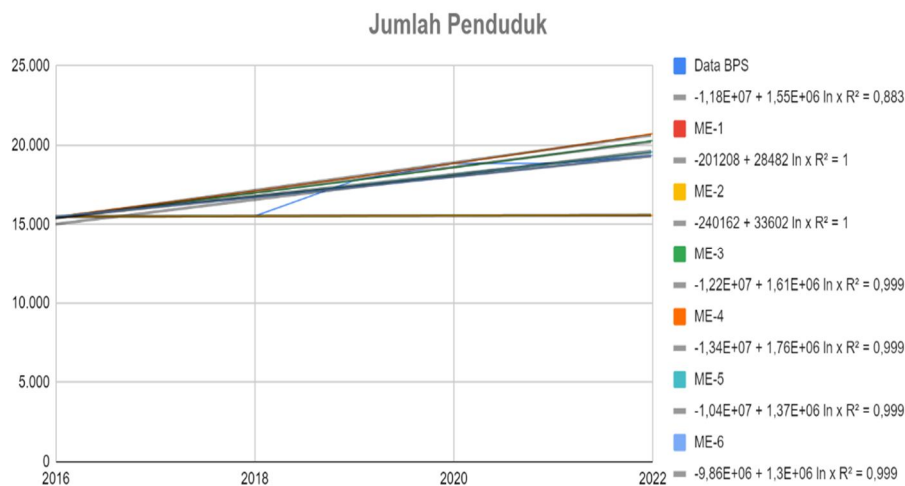
Tabel 7 Galat Model Logistik

Tahun	Galat %					
	Model I	Model II	Model III	Model IV	Model V	Model VI
2016	0	0	0	0	0	0
2017	0	0,000129	0,04599	0,049855	0,039549	0,037488
2018	0,000322	0	0,093412	0,10139	0,080031	0,075721
2019	0,125253	0,124859	0	0,010855	0,01811	0,023903
2020	0,174602	0,174072	0,01421	0	0,037752	0,045228
2021	0,17386	0,173224	0,030329	0,048727	0	0,009703
2022	0,194806	0,194031	0,048172	0,070374	0,011565	0
$\sum \frac{Galat}{n}$	9,550304	9,518792	3,315908	4,017155	2,671537	2,743468

Gambar 1 dan 2 berikut menampilkan plot jumlah penduduk Kecamatan Sinonsayang berdasarkan data BPS dan proyeksi berdasarkan Model Eksponensial dan Logistik pada tahun 2016 sampai dengan 2022.

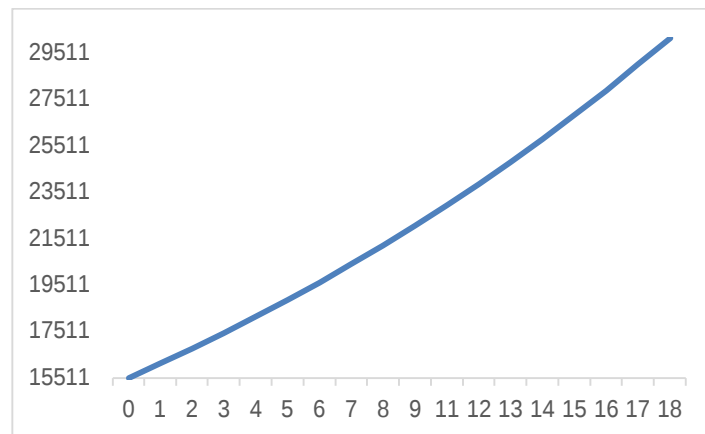


Gambar 1. Grafik Jumlah Penduduk Kecamatan Sinonsayang berdasarkan Data BPS dan Proyeksi berdasarkan Model Eksponensial

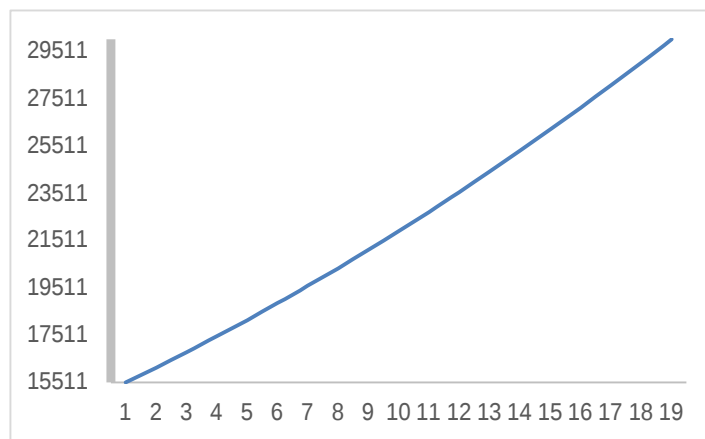


Gambar 2. Grafik Jumlah Penduduk Kecamatan Sinonsayang berdasarkan Data BPS dan Proyeksi berdasarkan Model Logistik

Selanjutnya, akan disajikan proyeksi jumlah penduduk Kecamatan Sinonsayang menggunakan model eksponensial dengan pengambilan waktu $t=0,1,2,3,\dots,18$. Gambar grafik 3 dan 4 menunjukkan pertumbuhan penduduk Kecamatan Sinonsayang dari $t=18$.



Gambar 3. Proyeksi penduduk Kecamatan Sinonsayang dengan $t=0,1,2,3,\dots,18$



Gambar 4. Proyeksi penduduk Kecamatan Sinonsayang dengan $t=0,1,2,3,\dots,18$.

Berdasarkan grafik di atas, terlihat bahwa jumlah penduduk di Kecamatan Sinonsayang terus meningkat dari waktu ke waktu. Proyeksi jumlah penduduk tahun 2024 menggunakan model eksponensial dan logistik menunjukkan hasil yang berbeda. Berdasarkan Grafik 1 dan 2, model logistik lebih akurat dalam menggambarkan jumlah penduduk karena dapat menghasilkan estimasi yang lebih mendekati data sensus dibandingkan model eksponensial. Berdasarkan nilai MAPE, model eksponensial V dan model Logistik V memiliki nilai MAPE terkecil dibandingkan model lainnya. Dalam perhitungan Mean Absolute Percentage Error, galat untuk model eksponensial V adalah sebesar 2,686212, sementara model logistik V menghasilkan galat sebesar 2,671537.

5. KESIMPULAN

Laju pertumbuhan (r) penduduk di kecamatan Sinonsayang menggunakan model eksponensial adalah sebesar 0,0390988 dengan $N(t) = 15.511e^{0,0390988t}$, sedangkan dengan menggunakan model logistic laju pertumbuhan (r) adalah 0.0471879. Jumlah penduduk yang Kecamatan Sinonsayng tahun 2030 dengan menggunakan model ekponensial V adalah 26814. Sedangkan dengan menggunakan model logistik V adalah 27145. Peneliti lain dapat mengembangkan penelitian ini dengan menganalisis kestabilan lokal pada model persamaan logistik untuk periode yang akan datang, mengingat penelitian ini belum membahas aspek kestabilan model tersebut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada piha-pihak terkait segenap civitas Universitas Negeri Manado yang pernah berpartisipasi mendukung penulis hingga dapat menyelesaikan penelitian ini dengan baik

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Zabadi AM, Assaf R, & Kanan M. 2017. *A Mathematical and Statistical Approach for Predicting the Population Growth. World Wide Journal of Multidisciplinary Research and Development.* 3(7). 50-59.
- [2] Nurviana, N. (2021). Proyeksi Jumlah Penduduk Di Kecamatan Langsa Barat Menggunakan Model Malthus Dan Populasi Logistik. *JUMAL GAMMA-PI*, 3(1), 36-41.
- [3] Anggreini, Dewi. 2020. "Penerapan Model Populasi Kontinu Pada Perhitungan Proyeksi Penduduk di Indonesia (Studi Kasus: Provinsi Jawa Timur)." *E-Jurnal Matematika* 9.4
- [4] Anggreini. 2018. Model Matriks Leslie dengan Strategi Pemanenan pada Kelompok Umur Termuda pada Angka Kesuburan dan Harapan Hidup Populasi Domba Betina. *Fourier*. 7 (1). 23-34
- [5] Hathout, Dean. 2013. *Modeling Population Growth: Exponential and Hyperbolic Modeling. Applied Mathematics.* 4, 299-304.
- [6] Kumiawan, A., Holisin, I., & Kristanti, F. 2017. Aplikasi Persamaan Diferensial Biasa Model Ekspensial dan Logistik pada Pertumbuhan Penduduk Kota Surabaya. *MUST: Journal of Mathematics Education, Science and Technology*, 2(1), 129-141
- [7] Nuraeni, Z. (2017). Aplikasi persamaan diferensial dalam estimasi jumlah populasi. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Matematika*, 5(1), 9-16.
- [8] Ahmad, A. (2019). Pemodelan Matematika Dengan Menggunakan Persamaan Diferensial Pada Pertumbuhan Penduduk di Indonesia. *Prosiding Sendika: Vol*, 5(2), 1.
- [9] C.C. Kerry, Tessy S, Ezeora J.N, Iweanandu O.J. 2017. *A Comparative Study of Mathematical and Statistical Models for Population Projection of Nigeria. Intemational Journal of Scientific & Engineering Research*, 8 (2).
- [10] Nuraeni, Zuli. 2015. Aplikasi Persamaan Diferensial dalam Estimasi Jumlah Populasi, *Jurnal Ilmiah Pendidikan Matematika*. 5(1) 9-16.
- [11] Ullah. MS, Mustofa G, Jahan N & Khan MAH. 2019. *Analyzing and Projection of Future Bangladesh Population Using Logistic Growth Model. Intemational Journal of Modern Nonlinear Theory and Application*. 8, 53-61.
- [12] Nurulita, R. (2016). Penerapan model-model pertumbuhan populasi untuk data pertumbuhan penduduk di Jawa Barat (Doctoral dissertation, UIN Sunan Gunung Djati Bandung).
- [13] Badan Pusat Statistik. 2023. *Kecamatan Sinonsayang Dalam Angka*
- [14] Mondol. H, Mallick UK, Biswas MAH. 2018. *Mathematical Modeling And Predicting The Current Trends Of Human Population Growth In Bangladesh. Advances In Modelling And Analysis* A.55 (2). 62-69.