

PENERAPAN MODEL EXPONENSIAL DAN LOGISTIK DALAM PREDIKSI POPULASI : STUDI KASUS KOTA PALEMBANG

Rizki Andika^{1*}, Agus Rahmad Hidayah², M Aditya Yoga Pratama³, Ida Bagus Bisma⁴, Alkausar Irfani⁵, Dr. Shinta Puspasari, S.Si., M.Kom⁶

^{1, 2}Universitas Indo Global Mandiri; Jl. Jend. Sudirman No. 629 30129, Palembang Sumatera Selatan, [+62 711 32270506](tel:+6271132270506)

³ Jurusan Teknik Informatika, FASILKOM UIGM, Palembang

Riwayat artikel:

Received: 12 Januari 2024

Accepted: 30 Maret 2024

Published: 2 April 2024

Keywords:

Population, Prediction, Exponential Model, Logistic Model, Python.

Correspondent Email:

2021110092@students.uigm.ac.id

Abstrak. Jurnal ini berfokus pada penerapan dua model matematika, yaitu model eksponensial dan model logistik, dalam meramalkan populasi di Kota Palembang. Dengan menggunakan data historis populasi dari tahun 2012 hingga 2021, penelitian ini mencoba untuk memahami dan memprediksi pola pertumbuhan populasi. Melalui analisis yang dilakukan dengan menggunakan bahasa pemrograman Python, penelitian ini mencoba untuk menentukan model mana yang paling akurat dalam meramalkan pertumbuhan populasi. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan baru tentang bagaimana model matematika dapat digunakan dalam meramalkan pertumbuhan populasi dan bagaimana hasil ramalan ini dapat digunakan dalam perencanaan dan pengambilan keputusan oleh pemerintah kota. Selain itu, penelitian ini juga berusaha untuk menunjukkan bagaimana teknologi dan pemrograman dapat digunakan dalam penelitian demografi dan bagaimana hal ini dapat membantu dalam memahami dan meramalkan pertumbuhan populasi.

Abstract. This journal focuses on the application of two mathematical models, namely the exponential and logistic models, in predicting the population of Palembang City. By using historical population data from 2012 to 2021, this research attempts to understand and predict population growth patterns. Through analysis conducted using the Python programming language, this research tries to determine which model is most accurate in predicting population growth. The results of this research are expected to provide new insights into how mathematical models can be used in predicting population growth and how these prediction results can be used in planning and decision-making by the city government. In addition, this research also strives to show how technology and programming can be used in demographic research and how this can assist in understanding and predicting population growth."

1. PENDAHULUAN

Palembang, sebagai salah satu pusat perkembangan ekonomi dan sosial di Indonesia, menghadapi tantangan yang terus berkembang terkait pertumbuhan populasi. Prediksi populasi merupakan aspek kunci dalam perencanaan pembangunan kota yang berkelanjutan dan efisien. Dalam konteks ini, penerapan model matematika menjadi alat yang penting untuk membantu mengantisipasi pertumbuhan populasi di masa mendatang. Dalam penelitian ini, akan dijelajahi penerapan dua model matematika utama, yaitu model eksponensial dan model logistik, untuk meramalkan populasi Kota Palembang. Model eksponensial mencerminkan pertumbuhan populasi yang berkelanjutan dan eksponensial, sementara model logistik memperhitungkan faktor keterbatasan daya dukung lingkungan yang dapat memoderasi pertumbuhan populasi.

Selain itu, dalam penelitian ini, akan dianalisis dan diprediksi data populasi menggunakan bahasa pemrograman Python. Dengan menggunakan Python, dapat dilakukan manipulasi, visualisasi, dan analisis dataset populasi dengan mudah. Selain itu, Python juga menyediakan berbagai library yang berguna untuk analisis data seperti 'NumPy', 'Sklearn', 'Scipy', dan 'Matplotlib', yang akan membantu dalam memahami dan memvisualisasikan hubungan antara variabel-variabel terkait. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan kontribusi pada pemahaman tentang bagaimana populasi Kota Palembang dapat berevolusi dalam beberapa tahun mendatang.

Dengan memanfaatkan data historis dan mengintegrasikan model matematika, diharapkan dapat memberikan prediksi yang lebih akurat dan relevan bagi para perencana kota, pemerintah, dan pemangku kepentingan lainnya. Melalui kajian ini, diharapkan dapat dihasilkan pandangan mendalam tentang dinamika pertumbuhan populasi Kota Palembang. Implikasi temuan ini diharapkan dapat membantu para pembuat kebijakan dalam mengembangkan strategi perencanaan yang tepat untuk menghadapi tantangan pertumbuhan populasi di masa depan, sekaligus mempromosikan pembangunan yang berkelanjutan dan berdaya dukung lingkungan.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Pengumpulan Data

Data yang diperoleh berasal dari Badan Pusat Statistik (BPS) Provinsi Sumatera Selatan dan berupa informasi mengenai angka populasi di kota Palembang dari tahun 2012 hingga 2021. Data yang kami peroleh yaitu data aktual sebagai referensi dan data perhitungan yang akan digunakan untuk analisis

Tabel 1. Data populasi penduduk kota Palembang

tahun	jumlah penduduk
2012	1,503,485
2013	1,535,900
2014	1,558,494
2015	1,580,517
2016	1,602,071
2017	1,623,099
2018	1,643,488
2019	1,662,893
2020	1,668,164
2021	1,686,073

Sumber : Badan Pusat Statistik (BPS) Provinsi Sumatera Selatan

2.2 Model Pertumbuhan Eksponensial

Pertumbuhan eksponensial yang ditemukan oleh Thomas Malthus adalah konsep dalam teori pertumbuhan populasi. Menurut Malthus, pertumbuhan populasi berpotensi berlangsung secara eksponensial, yaitu meningkat dengan persentase tetap setiap tahun. Untuk memprediksi populasi penduduk menggunakan model eksponensial, kita dapat menggunakan rumus berikut:

$$P(t) = P_0 e^{kt}$$

di mana:

- $P(t)$ adalah jumlah penduduk pada tahun ke- t ,
- P_0 adalah jumlah penduduk pada tahun dasar,
- r adalah laju pertumbuhan penduduk,
- e adalah bilangan eksponensial yang besarnya 2,71828

2.3 Model Pertumbuhan Logistik

Model pertumbuhan logistik adalah model matematika yang digunakan untuk memprediksi perubahan jumlah populasi terhadap waktu. Model ini mengasumsikan bahwa pertumbuhan populasi akan mencapai titik kesetimbangan atau titik equilibrium pada suatu waktu. Pertumbuhan populasi pada model ini dipengaruhi oleh laju intrinsik dan kapasitas batas lingkungan. Berikut adalah cara memprediksi populasi penduduk menggunakan model logistik :

$$P(t) = \frac{K}{e^{-kt} \left(\frac{K}{P_0} - 1 \right) + 1}$$

di mana:

- $P(t)$ adalah ukuran populasi pada waktu t ,
- P_0 adalah ukuran populasi awal,
- k adalah laju pertumbuhan intrinsik,
- K adalah kapasitas batas lingkungan atau daya tampung

2.4 MAPE (Mean Absolute Percentage Error)

MAPE (Mean Absolute Percentage Error) adalah alat statistik yang digunakan untuk mengukur keakuratan suatu model statistik dalam melakukan prediksi atau peramalan. Dalam referensi lain, MAPE juga dikenal dengan Mean Absolute Percentage Deviation (MAPD). Berikut adalah rumus MAPE :

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{A_i - F_i}{A_i} \right| \times 100\%$$

di mana:

- n adalah ukuran sampel,
- A_i adalah nilai data aktual,
- F_i adalah nilai data peramalan

2.5 Koefisien Determinasi (R^2)

Koefisien determinasi, juga dikenal sebagai R^2 , adalah ukuran statistik yang digunakan untuk menilai seberapa baik model regresi menjelaskan variasi dalam data. Nilai R^2 berkisar antara 0 hingga 1. Nilai yang mendekati 1 menunjukkan bahwa model regresi dapat menjelaskan sebagian besar variasi dalam data. Rumus untuk menghitung R^2 adalah:

$$R^2 = 1 - \frac{SSR}{SST}$$

Dimana :

- SSR adalah jumlah kuadrat residu, yang dihitung sebagai

$$SSR = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$$

Dimana y_i adalah nilai sebenarnya dan \hat{y}_i adalah nilai prediksi.

- SST adalah total jumlah kuadrat, yang dihitung sebagai

$$SST = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$$

Dimana \bar{y} adalah rata-rata nilai sebenarnya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

- Hasil Perhitungan model eksponensial
Hasil prediksi model eksponensial data populasi penduduk kota Palembang pada tahun 2025 menggunakan bahasa pemrograman python, dapat dilihat baris program bahasa python berikut :

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from scipy.optimize import
curve_fit
from sklearn.metrics import
r2_score
```

```

# Data for the population of Palembang from
2012 to 2021
years = np.array([2012, 2013, 2014, 2015,
2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021])
population = np.array([1503485, 1535900,
1558494, 1580517, 1602071, 1623099,
1643488, 1662893, 1668164, 1686073])

# Convert years to a relative scale
relative_years = years - np.min(years)

# Define exponential model
def exponential_model(t, P0, k):
return P0 * np.exp(k * t)

# Fit exponential model
popt_exponential, pcov_exponential =
curve_fit(exponential_model, relative_years,
population)
P0_exponential, k_exponential =
popt_exponential

# Prediction for the year 2025
t_pred = np.max(years) + 4 # Assuming next
year
t_pred_relative = t_pred - np.min(years)
P_pred_exponential =
exponential_model(t_pred_relative,
P0_exponential, k_exponential)

# Print results
print("\nModel eksponensial:  $P(t) = \{:.2f\} * \exp(\{:.4f\} * t)$ ".format(P0_exponential,
k_exponential))
for i in range(len(years)):
print("Tahun: {}, Jumlah Penduduk: {}, Model
Ekspensial: {:.0f}".format(years[i],
population[i],
exponential_model(relative_years[i],
P0_exponential, k_exponential)))
print("Prediksi populasi Kota Palembang pada
tahun {} menggunakan model eksponensial:
{:.0f} jiwa\n".format(t_pred,
P_pred_exponential))

```

Gambar 1 Kode program model eksponensial

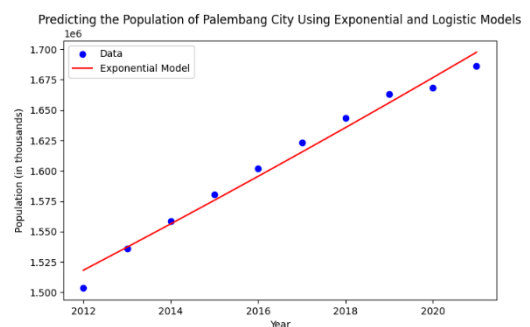
Pada gambar 1 kode program ditujukan untuk melakukan forecast populasi Kota Palembang pada tahun 2025 dengan menggunakan data populasi dari tahun 2012 hingga 2021 sebagai

input. Hasil perhitungan menggunakan model eksponensial pada gambar berikut berikut :

Tahun: 2012, Jumlah Penduduk: 1503485,
Model Eksponensial: 1518244
Tahun: 2013, Jumlah Penduduk: 1535900,
Model Eksponensial: 1537194
Tahun: 2014, Jumlah Penduduk: 1558494,
Model Eksponensial: 1556381
Tahun: 2015, Jumlah Penduduk: 1580517,
Model Eksponensial: 1575808
Tahun: 2016, Jumlah Penduduk: 1602071,
Model Eksponensial: 1595477
Tahun: 2017, Jumlah Penduduk: 1623099,
Model Eksponensial: 1615392
Tahun: 2018, Jumlah Penduduk: 1643488,
Model Eksponensial: 1635555
Tahun: 2019, Jumlah Penduduk: 1662893,
Model Eksponensial: 1655970
Tahun: 2020, Jumlah Penduduk: 1668164,
Model Eksponensial: 1676639
Tahun: 2021, Jumlah Penduduk: 1686073,
Model Eksponensial: 1697567

Prediksi populasi Kota Palembang pada tahun 2025 menggunakan model eksponensial: 1783922 jiwa

Gambar 2. Output program model eksponensial



Gambar 3. Ploting perbandingan model eksponensial dan data asli

Dari hasil gambar 2 dan gambar 3 menunjukkan bahwa populasi Kota Palembang diperkirakan akan meningkat seiring berjalannya waktu, seperti yang ditunjukkan oleh tren naik dalam grafik. Prediksi ini didasarkan pada model eksponensial, yang merupakan model pertumbuhan yang umum digunakan dalam demografi dan ekologi. Model ini mengasumsikan bahwa pertumbuhan

populasi akan terus meningkat pada tingkat yang konstan.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Model Eksponensial

Tahun	Jumlah Penduduk	Hasil Prediksi Model Eksponensial
2012	1,503,485	1,518,244
2013	1,535,900	1,537,194
2014	1,558,494	1,556,381
2015	1,580,517	1,575,808
2016	1,602,071	1,595,477
2017	1,623,099	1,615,392
2018	1,643,488	1,635,555
2019	1,662,893	1,655,970
2020	1,668,164	1,676,639
2021	1,686,073	1,697,567
Hasil Prediksi tahun 2025		1,783,922

b. Hasil Perhitungan model Logistik

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from scipy.optimize import curve_fit
from sklearn.metrics import r2_score

# Data for the population of Palembang
# from 2012 to 2021
years = np.array([2012, 2013, 2014,
2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020,
2021])
population = np.array([1503485,
1535900, 1558494, 1580517, 1602071,
1623099, 1643488, 1662893, 1668164,
1686073])

# Convert years to a relative scale
relative_years = years - np.min(years)

# Define logistic model
def logistic_model(t, P0, k, K):
    return K / (np.exp(-k * t) * ((K / P0) - 1)
    + 1)

# Fit logistic model
popt_logistic, pcov_logistic =
curve_fit(logistic_model, relative_years,
population, bounds=([0, 0, 0], [2000000,
0.1, 2000000]))
P0_logistic, r_logistic, K_logistic =
popt_logistic
```

```
# Prediction for the year 2025
t_pred = np.max(years) + 4 # Assuming
next year
t_pred_relative = t_pred - np.min(years)
P_pred_logistic =
logistic_model(t_pred_relative, P0_logistic,
r_logistic, K_logistic)
```

```
#Print Result
print("Model logistik: P(t) = {:.2f} *
exp({:.4f} * t) / ({:.2f} + {:.2f} * (exp({:.4f}
* t) - 1))\n".format(P0_logistic, r_logistic,
K_logistic, P0_logistic, r_logistic))
for i in range(len(years)):
    print("Tahun: {}, Jumlah Penduduk: {},
Model Logistik: {:.0f}".format(years[i],
population[i],
logistic_model(relative_years[i],
P0_logistic, r_logistic, K_logistic)))
print("Prediksi populasi Kota Palembang
pada tahun {} menggunakan model logistik:
{:.0f} jiwa".format(t_pred, P_pred_logistic))
```

Gambar 5 Kode program model logistik

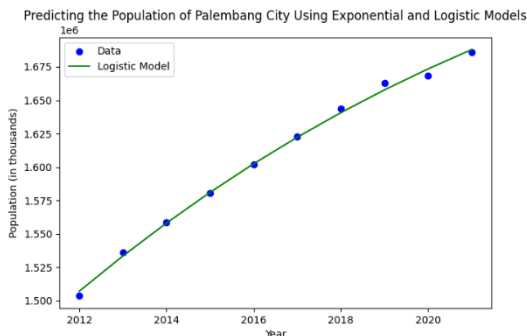
Pada gambar 5 kode program ditujukan untuk melakukan forecast populasi Kota Palembang pada tahun 2025 dengan menggunakan data populasi dari tahun 2012 hingga 2021 sebagai input. Hasil perhitungan menggunakan model logistik pada gambar berikut berikut :

```
Tahun: 2012, Jumlah Penduduk: 1503485,
Model Logistik: 1507037
Tahun: 2013, Jumlah Penduduk: 1535900,
Model Logistik: 1533391
Tahun: 2014, Jumlah Penduduk: 1558494,
Model Logistik: 1558045
Tahun: 2015, Jumlah Penduduk: 1580517,
Model Logistik: 1581045
Tahun: 2016, Jumlah Penduduk: 1602071,
Model Logistik: 1602450
Tahun: 2017, Jumlah Penduduk: 1623099,
Model Logistik: 1622323
Tahun: 2018, Jumlah Penduduk: 1643488,
Model Logistik: 1640735
Tahun: 2019, Jumlah Penduduk: 1662893,
Model Logistik: 1657759
Tahun: 2020, Jumlah Penduduk: 1668164,
Model Logistik: 1673470
```

Gambar 6 Output program model logistik

Tahun: 2021, Jumlah Penduduk: 1686073,
Model Logistik: 1687944
Prediksi populasi Kota Palembang pada
tahun 2025 menggunakan model logistik:
1734986 jiwa

Gambar 6 Output program model logistik



Gambar 7. Ploting perbandingan model logistik dan data asli

Berdasarkan hasil forecast menggunakan model logistik pada Gambar 5 dan Gambar 6 dari data populasi penduduk Kota Palembang dari tahun 2012 hingga 2021, terlihat bahwa terdapat tren pertumbuhan yang konsisten. Model logistik ini mengasumsikan bahwa pertumbuhan populasi akan berlanjut pada tingkat yang konstan, meningkat seiring berjalannya waktu hingga mencapai suatu kapasitas tertentu. Pada gambar 5 juga mencantumkan prediksi untuk tahun 2025, yang memperkirakan populasi sebanyak 1734966 orang.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Model Logistik

Tahun	Jumlah Penduduk	Hasil Prediksi Model Logistik
2012	1,503,485	1,507,037
2013	1,535,900	1,533,391
2014	1,558,494	1,558,045
2015	1,580,517	1,581,045
2016	1,602,071	1,602,450
2017	1,623,099	1,622,323
2018	1,643,488	1,640,735
2019	1,662,893	1,657,759
2020	1,668,164	1,673,470
2021	1,686,073	1,687,944
Hasil Prediksi tahun 2025		1,734,986

c. MAPE 9Mean Absolute Percentage Error)

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from scipy.optimize import curve_fit
from sklearn.metrics import r2_score

# Data for the population of Palembang from 2012 to 2021
years = np.array([2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021])
population = np.array([1503485, 1535900, 1558494, 1580517, 1602071, 1623099, 1643488, 1662893, 1668164, 1686073])

# Convert years to a relative scale
relative_years = years - np.min(years)

# Define exponential model
def exponential_model(t, P0, k):
    return P0 * np.exp(k * t)

# Define logistic model
def logistic_model(t, P0, k, K):
    return K / (np.exp(-k * t) * ((K / P0) - 1) + 1)

# Fit exponential model
popt_exponential, pcov_exponential = curve_fit(exponential_model, relative_years, population)
P0_exponential, k_exponential = popt_exponential

# Fit logistic model
popt_logistic, pcov_logistic = curve_fit(logistic_model, relative_years, population, bounds=([0, 0, 0], [2000000, 0.1, 2000000]))
P0_logistic, r_logistic, K_logistic = popt_logistic

# Calculate MAPE for exponential model
mape_exponential = np.mean(np.abs((population - exponential_model(relative_years, P0_exponential, k_exponential)) / population)) * 100

# Calculate MAPE for logistic model
mape_logistic = np.mean(np.abs((population - logistic_model(relative_years, P0_logistic, r_logistic, K_logistic)) / population)) * 100

print("Nilai MAPE untuk model eksponensial: {:.4f}%\n".format(mape_exponential))
print("Nilai MAPE untuk model logistik: {:.4f}%\n".format(mape_logistic))
```

Gambar 7. Kode program perhitungan MAPE

Gambar 7 menggambarkan implementasi kode program yang digunakan untuk menghitung Mean Absolute Percentage Error (MAPE). MAPE merupakan metrik evaluasi yang digunakan untuk mengukur tingkat akurasi antara prediksi yang dihasilkan oleh model eksponensial dan logistik dengan data populasi aktual. Dalam konteks ini, model yang menghasilkan nilai MAPE yang lebih rendah dianggap memiliki tingkat akurasi yang lebih baik dalam menyesuaikan dan memprediksi data populasi aktual

Nilai MAPE untuk model eksponensial:
0.4475%
Nilai MAPE untuk model logistik: 0.1439%

Gambar 8.. Output program perhitungan MAPE

Berdasarkan output program pada gambar 8, dapat dilihat bahwa model logistik memiliki performa yang lebih baik dibandingkan dengan model eksponensial dalam menyesuaikan dan memprediksi data populasi Kota Palembang. Dalam hal ini, nilai MAPE untuk model logistik adalah 0.1439%, sedangkan untuk model eksponensial adalah 0.4475%. Nilai MAPE yang lebih rendah pada model logistik menunjukkan bahwa prediksi yang dihasilkan oleh model ini lebih dekat dengan nilai aktual, yang berarti model tersebut lebih akurat

d. Koefisien Determinasi (R^2)

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from scipy.optimize import curve_fit
from sklearn.metrics import r2_score

# Data for the population of Palembang from 2012 to 2021
years = np.array([2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021])
population = np.array([1503485, 1535900, 1558494, 1580517, 1602071, 1623099, 1643488, 1662893, 1668164, 1686073])

# Convert years to a relative scale
relative_years = years - np.min(years)
```

```
# Define exponential model
def exponential_model(t, P0, k):
    return P0 * np.exp(k * t)

# Define logistic model
def logistic_model(t, P0, k, K):
    return K / (np.exp(-k * t) * ((K / P0) - 1) + 1)

# Fit exponential model
popt_exponential, pcov_exponential = curve_fit(exponential_model, relative_years, population)
P0_exponential, k_exponential = popt_exponential

# Fit logistic model
popt_logistic, pcov_logistic = curve_fit(logistic_model, relative_years, population, bounds=([0, 0, 0], [2000000, 0.1, 2000000]))
P0_logistic, r_logistic, K_logistic = popt_logistic

# Calculate R2 & MAPE for exponential model
r_squared_exponential = r2_score(population, exponential_model(relative_years, P0_exponential, k_exponential))
mape_exponential = np.mean(np.abs((population - exponential_model(relative_years, P0_exponential, k_exponential)) / population)) * 100

# Calculate R2 & MAPE for logistic model
r_squared_logistic = r2_score(population, logistic_model(relative_years, P0_logistic, r_logistic, K_logistic))
mape_logistic = np.mean(np.abs((population - logistic_model(relative_years, P0_logistic, r_logistic, K_logistic)) / population)) * 100

print("\nNilai R^2 untuk model eksponensial: {:.4f}".format(r_squared_exponential))
print("Nilai MAPE untuk model eksponensial: {:.4f}%\n".format(mape_exponential))
print("Nilai R^2 untuk model logistik: {:.4f}".format(r_squared_logistic))
print("Nilai MAPE untuk model logistik: {:.4f}%\n".format(mape_logistic))
```

Gambar 9 program perhitungan R^2

Gambar 9 menampilkan implementasi kode program yang digunakan untuk menghitung Koefisien Determinasi (R^2). R^2 adalah metrik statistik yang digunakan untuk mengukur proporsi variabilitas dalam variabel dependen (dalam hal ini, populasi) yang dapat diprediksi dari variabel independen (dalam hal ini, tahun) dalam model regresi. Nilai R^2 berkisar antara 0 hingga 1, dengan nilai yang lebih tinggi

menunjukkan bahwa model mampu menjelaskan variasi yang lebih besar dalam data. Dalam konteks ini, model yang menghasilkan nilai R^2 yang lebih tinggi dianggap memiliki kecocokan yang lebih baik terhadap data populasi aktual.

Nilai R^2 untuk model eksponensial:
0.9802
Nilai R^2 untuk model logistik: 0.9974

Gambar 10. program perhitungan R^2

Berdasarkan output program perhitungan R^2 pada gambar 10 dapat dilihat bahwa model logistik memiliki performa yang lebih baik dibandingkan dengan model eksponensial dalam menyesuaikan dan memprediksi data populasi Kota Palembang. Dalam hal ini, nilai R^2 untuk model logistik adalah 0.9974, sedangkan untuk model eksponensial adalah 0.9802. Nilai R^2 yang lebih tinggi pada model logistik menunjukkan bahwa model ini mampu menjelaskan variasi dalam data populasi dengan lebih baik dibandingkan model eksponensial.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan, dapat disimpulkan bahwa baik metode eksponensial maupun metode logistik dapat digunakan untuk melakukan prediksi populasi penduduk pada kota Palembang. Model Eksponensial memiliki R^2 sebesar 0.9802 menunjukkan bahwa model ini mampu menjelaskan 98.02% variasi dalam data populasi dan MAPE sebesar 0.4475% menunjukkan bahwa terdapat rata-rata 0.4475% kesalahan absolut antara prediksi model dan data aktual. Meskipun model ini cukup baik, namun memiliki keterbatasan dalam memprediksi pertumbuhan populasi jangka panjang karena asumsi pertumbuhan yang konstan. Dibandingkan dengan model logistik yang memiliki nilai R^2 sebesar 0.9974, menunjukkan bahwa model ini mampu menjelaskan 99.74% variasi dalam data populasi. Selain itu, nilai MAPE sebesar 0.1439% menunjukkan bahwa terdapat rata-rata 0.1439% kesalahan absolut antara prediksi model dan data aktual, yang lebih baik dibandingkan model eksponensial. Model ini

lebih realistis dalam memprediksi pertumbuhan populasi jangka panjang karena mempertimbangkan kapasitas maksimum populasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Nurmadhani and F. Faisol, "Penerapan Model Pertumbuhan Logistik Dalam Memprediksi Jumlah Penduduk Di Kabupaten Sumenep," *J. Edukasi dan Sains Mat.*, vol. 8, no. 2, pp. 145–156, 2022, doi: 10.25134/jes-mat.v8i2.5436.
- [2] O. Rohaeni, "Model Pertumbuhan Populasi Satu Spesies Dengan Tundaan Waktu Diskrit," *Matematika*, vol. 16, no. 1, pp. 1–7, 2017, doi: 10.29313/jmtm.v16i1.2541.
- [3] M. F. Romdhoni, "Analisa Kepadatan Kota, Pergerakan dan Perkembangan Morfologi Kota Palembang, Indonesia," *Arsir*, vol. 4, no. 2, p. 25, 2020, doi: 10.32502/arsir.v4i2.2771.
- [4] M. R. S. Alfarizi, M. Z. Al-farish, M. Taufiqurrahman, G. Ardiansah, and M. Elgar, "Penggunaan Python Sebagai Bahasa Pemrograman untuk Machine Learning dan Deep Learning," *Karya Ilm. Mhs. Bertauhid (KARIMAH TAUHID)*, vol. 2, no. 1, pp. 1–6, 2023.
- [5] Z. Nuraeni, "Aplikasi Persamaan Diferensial Dalam Estimasi Jumlah Populasi," *Delta J. Ilm. Pendidik. Mat.*, vol. 5, no. 1, p. 9, 2017, doi: 10.31941/delta.v5i1.384.
- [6] Z. Omar and A. Tareen, "Modeling Exponential Growth in Population using Logistic, Gompertz and ARIMA Model: An Application on New Cases of COVID-19 in Pakistan," *Int. J. Comput. Sci. Netw. Secur.*, vol. 21, no. 1, pp. 192–200, 2021, [Online]. Available: <https://doi.org/10.22937/ijcsns.2021.21.1.24>
- [7] U. M. Bulukumba, "Application of Exponential and Logistic Models in Estimating the Population of Bulukumba Regency in 2020-2030," vol. 1, no. 2, 2023.
- [8] I. Imelda, Y. Yunisvita, B. B. Soebyakto, and D. Apriani, "Does Palembang City's Population Growth Affect Optimal City Size: Minimum Cost and Maximum Net Benefit Approach?," vol. 142, no. Seabc 2019, pp. 463–467, 2020, doi: 10.2991/aebmr.k.200520.077.
- [9] N. Rozikin, K. Sarjana, A. Arjudin, and N. Hikmah, "Aplikasi Persamaan Diferensial Dalam Mengestimasi Jumlah Penduduk dengan Menggunakan Model Eksponensial dan Logistik," *Griya J. Math. Educ. Appl.*, vol. 1, no. 1, pp. 44–55, 2021, doi:

- 10.29303/griya.v1i1.7.
- [10] A. Kurniawan, I. Holisin, and F. Kristanti, "Aplikasi Persamaan Diferensial Biasa Model Eksponensial dan Logistik pada Pertumbuhan Penduduk Kota Surabaya," *MUST J. Math. Educ. Sci. Technol.*, vol. 2, no. 1, p. 129, 2017, doi: 10.30651/must.v2i1.529.
 - [11] M. N. Uddin, M. Rana, K. Islam, and R. Shartaz, "Prediction for Future Population Growth of Bangladesh by Using Exponential & Logistic Model," *Iconic Res. Eng. Journals*, vol. 3, no. 2, pp. 356–364, 2019.
 - [12] A. Suwandi, "Prediksi Harga Emas Menggunakan Metode Single Moving Average," *JiTEKH*, vol. 8, no. 1, pp. 32–36, 2020, doi: 10.35447/jitekh.v8i1.194.
 - [13] R. Lo *et al.*, "Penggunaan Bahasa Pemrograman Python dalam Menganalisis Hubungan Kualitas Kopi dengan Lokasi Pertanian Kopi," *J. Publ. Tek. Inform.*, vol. 2, no. Mei, pp. 100–109, 2023, [Online]. Available: <https://doi.org/10.55606/jupti.v2i2.1752>