

PEMODELAN MATEMATIKA JUMLAH PENDUDUK MINAHASA UTARA DENGAN PENDEKATAN LOGISTIK

MATHEMATICAL MODELING OF THE POPULATION OF NORTH MINAHASA USING A LOGISTIC APPROACH

Anggelica lubis¹, Leli Ruata², Artia Koesni³, Aifel Pandei⁴, Franklin A W Sumampouw⁵, Altomi M Sambe⁶, James U L Mangobi⁷, Marvel Maukar⁸

ABSTRACT

¹Program Studi Matematika,
Fakultas Matematika, Ilmu
Pengetahuan Alam dan
Kebumian, Universitas Negeri
Manado, Kabupaten Minahasa,
95618, Indonesia
anggelicalubiss128@gmail.com

The development of population size is a crucial factor in determining the direction of regional development. North Minahasa Regency has shown a relatively stable population growth trend each year. This study aims to construct a mathematical model using a logistic approach to predict the population of North Minahasa from 2020 to 2024. The logistic model was selected because it effectively represents growth that does not continuously increase but slows down as resources become limited. The prediction results are expected to support more accurate and sustainable development policies.

Keywords : *logistic model, population growth, North Minahasa, population prediction*

1. PENDAHULUAN

Perubahan jumlah penduduk dari waktu ke waktu merupakan hal yang tak terhindarkan dan sangat berpengaruh terhadap arah kebijakan pembangunan suatu daerah. Lonjakan populasi akan berdampak pada meningkatnya kebutuhan terhadap berbagai layanan umum, seperti pendidikan, kesehatan, pemukiman, serta transportasi. Maka dari itu, memahami bagaimana pola pertumbuhan penduduk terjadi menjadi langkah awal yang krusial bagi pemerintah daerah untuk merancang kebijakan yang lebih tepat guna dan berbasis data.^[1] Dalam proses perumusan kebijakan tersebut, pengolahan data kependudukan melalui metode statistik dapat menjadi landasan yang kuat untuk memperkirakan kondisi masa depan.^[2]

Model logistik menjadi salah satu pendekatan matematis yang relevan dalam menggambarkan pertumbuhan populasi yang tidak terus-menerus meningkat. Model ini pertama kali dikenalkan oleh Verhulst pada abad ke-19, di mana ia mengemukakan konsep carrying capacity atau batas maksimum jumlah penduduk yang bisa ditampung oleh suatu wilayah. Tidak seperti model eksponensial yang mengasumsikan pertumbuhan tak terbatas, model logistik justru memperlihatkan perlambatan pertumbuhan saat populasi mendekati daya tampung lingkungan.^[3] Murray^[4] turut memperkuat keunggulan model ini melalui pembahasannya tentang penerapan logistik pada sistem dinamis, bahkan dalam bentuk stokastik sekalipun, asalkan parameter-parameter model disesuaikan berdasarkan data yang ada.

Penelitian di berbagai wilayah menunjukkan bahwa model logistik lebih representatif dalam memproyeksikan jumlah penduduk dibandingkan model eksponensial. Salah satunya dilakukan oleh Mangobi et al.^[5] yang menerapkan model logistik dalam proyeksi jumlah penduduk di Kecamatan Sinonsayang, Sulawesi Utara, dan berhasil menunjukkan keandalan model tersebut dalam menyesuaikan tren data yang riil. Nugroho dan Fauzi^[6] yang membandingkan kedua pendekatan tersebut dan menemukan bahwa logistik lebih unggul dalam jangka panjang, terutama saat data

menunjukkan kecenderungan perlambatan. Dewi dan Prasetyo^[7] juga menunjukkan keberhasilan model logistik dalam memproyeksi penduduk Kota Balikpapan dengan akurasi yang tinggi. Hal serupa ditemukan oleh Arsyad dkk^[8] di Lombok Timur, yang menunjukkan bahwa proyeksi menggunakan logistik lebih sesuai hingga tahun 2033.

Dalam cakupan yang lebih luas, pemanfaatan model logistik tidak hanya terjadi di Indonesia. Saputra dan Yuliana^[9] menjelaskan bahwa pendekatan ini juga digunakan untuk memproyeksikan jumlah penduduk di beberapa negara seperti Nigeria, Uganda, dan Bangladesh. Bahkan di wilayah urban seperti DKI Jakarta dan Samarinda, model logistik juga digunakan untuk menganalisis dinamika kependudukan sekaligus mengevaluasi dampak dari kebijakan daerah.

Mengacu pada data resmi dari Badan Pusat Statistik^[10] jumlah penduduk Kabupaten Minahasa Utara mengalami peningkatan dari 225.000 jiwa pada tahun 2020 menjadi 233.470 jiwa pada tahun 2024. Tren ini memperlihatkan pertumbuhan yang mulai melambat, sehingga penggunaan model logistik menjadi pendekatan yang relevan untuk memproyeksikan populasi di wilayah tersebut secara lebih akurat.

2. KAJIAN PUSTAKA / METODOLOGI /PERANCANGAN

Pertumbuhan Penduduk dan Peran Statistik

Jumlah penduduk yang terus berubah dari waktu ke waktu merupakan hal yang wajar dan tidak bisa dihindari. Perubahan ini dapat memengaruhi berbagai sektor kehidupan masyarakat, seperti pendidikan, fasilitas kesehatan, pemukiman, dan transportasi. Oleh karena itu, sangat penting bagi pemerintah untuk memahami pola pertumbuhan penduduk agar kebijakan pembangunan yang dirancang bisa lebih tepat sasaran.^[11]

Agar kebijakan yang dibuat benar-benar berdasarkan kebutuhan nyata, maka data kependudukan harus diolah dengan metode statistik. Penggunaan statistik memungkinkan kita memprediksi kondisi penduduk di masa depan secara lebih rasional.^[12] Melalui pendekatan ini, pemerintah bisa menyusun rencana pembangunan berdasarkan angka-angka yang akurat, bukan hanya asumsi.

Model Matematika Pertumbuhan Penduduk

Salah satu cara untuk memperkirakan pertumbuhan jumlah penduduk yaitu dengan membuat model matematika. Model logistik merupakan salah satu model yang cukup sering digunakan, terutama jika laju pertumbuhan mulai melambat. Model ini pertama kali dikenalkan oleh Verhulst pada tahun 1838. Ia menyebutkan bahwa pertumbuhan penduduk tidak bisa terus naik karena adanya batas daya tampung lingkungan (carrying capacity).^[13]

Berbeda dengan model eksponensial yang menggambarkan pertumbuhan terus meningkat tanpa batas, model logistik menunjukkan bahwa pertumbuhan akan menurun seiring meningkatnya jumlah penduduk. Pendekatan ini lebih mendekati kenyataan karena pada akhirnya pertumbuhan akan melambat ketika sumber daya semakin terbatas. Murray^[14] juga menjelaskan bahwa model ini sangat berguna untuk menggambarkan sistem populasi dinamis, bahkan jika ada ketidakpastian, selama data yang digunakan akurat. Penelitian ini menggunakan model logistik untuk memproyeksikan pertumbuhan penduduk dalam jangka menengah.

Secara umum, rumus model logistik adalah:

$$P(t) = \frac{K}{1+ Ae^{-Bt}} \quad (1)$$

Keterangan:

P(t): jumlah penduduk pada waktu t

K: kapasitas maksimum penduduk

A, B: parameter model

t: waktu (dihitung dari tahun 2018 sehingga t= 0)

Model ini menjadi pilihan utama Ketika data menunjukkan bahwa pertumbuhan tidak lagi bersifat linear atau eksponensial.

Kajian Hasil Penelitian Relevan

Penelitian dari Mangobi et al. (2024), yang menunjukkan bahwa model logistik dapat menggambarkan laju pertumbuhan populasi secara lebih realistik dibandingkan model eksponensial, terutama dalam wilayah dengan keterbatasan daya dukung seperti Simonsayang.

Nugroho dan Fauzi (2018) menunjukkan bahwa model logistik lebih tepat digunakan untuk memprediksi jumlah penduduk dalam jangka panjang dibandingkan dengan model eksponensial. Hasil penelitian mereka menyimpulkan bahwa pendekatan logistik memberikan hasil yang lebih akurat, terutama ketika pertumbuhan tidak lagi cepat.

Sementara itu, Dewi dan Prasetyo (2019) melakukan studi serupa di Balikpapan. Mereka menemukan bahwa penggunaan model logistik dapat menggambarkan pertumbuhan penduduk secara realistik dan sesuai dengan kenyataan yang ada. Model ini membantu memberikan gambaran yang lebih jelas untuk perencanaan masa depan.

Arsyad dan timnya (2020) juga melakukan penelitian di Lombok Timur. Mereka menyimpulkan bahwa model logistik lebih cocok digunakan karena mampu menggambarkan tren penduduk hingga tahun 2033 dengan baik. Hal ini membuktikan bahwa model logistik tidak hanya tepat untuk saat ini, tetapi juga kuat dalam prediksi jangka panjang.

Di luar negeri, Saputra dan Yuliana (2021) mencatat bahwa model logistik banyak digunakan di negara-negara berkembang seperti Nigeria dan Bangladesh untuk menganalisis kebijakan kependudukan. Bahkan di kota besar seperti Jakarta dan Samarinda, model ini digunakan untuk menilai efektivitas kebijakan pemerintah terhadap pertumbuhan penduduk.

Kerangka Berpikir

Jumlah penduduk di suatu daerah yang terus berubah dari tahun ke tahun menuntut pemerintah untuk mengambil langkah yang tepat dalam perencanaan pembangunan. Namun, untuk mengambil keputusan yang tepat, tentu diperlukan data yang kuat dan proyeksi jumlah penduduk di masa mendatang.

Model matematika seperti model logistik dapat digunakan untuk memperkirakan pertumbuhan penduduk karena model ini mempertimbangkan adanya batas maksimal jumlah penduduk yang bisa ditampung oleh suatu wilayah. Ini penting karena pada kenyataannya, tidak semua daerah bisa terus menampung pertumbuhan penduduk secara tak terbatas.

Berdasarkan data dari BPS tahun 2024, Kabupaten Minahasa Utara mengalami peningkatan jumlah penduduk dari 225.000 jiwa pada tahun 2020 menjadi 233.470 jiwa di tahun 2024. Meskipun jumlahnya naik, tren kenaikannya mulai melambat. Hal ini menunjukkan bahwa pertumbuhan penduduk di daerah tersebut mulai mendekati batas wajar.

Dengan kondisi ini, model logistik dianggap sebagai pendekatan yang paling sesuai untuk menggambarkan pola pertumbuhan yang tidak terus meningkat. Oleh karena itu, penelitian ini akan menggunakan waktu (tahun) sebagai variabel bebas, dan jumlah penduduk sebagai variabel terikat.

Harapannya, model logistik bisa menghasilkan prediksi yang mendekati kenyataan, sehingga dapat digunakan sebagai acuan dalam perumusan kebijakan yang lebih baik.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif dengan tujuan untuk membangun model matematika dalam memprediksi jumlah penduduk Kabupaten Minahasa Utara. Metode yang digunakan adalah pendekatan logistik, yang dinilai relevan karena mampu menggambarkan pola pertumbuhan populasi yang tidak terus meningkat secara tak terbatas, melainkan cenderung melambat ketika mendekati kapasitas maksimum wilayah.

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada tahun 2024 dengan mengambil lokasi studi di Kabupaten Minahasa Utara, Sulawesi Utara. Data yang digunakan diperoleh dari laporan Badan Pusat Statistik (BPS) Minahasa Utara.

Subjek dan Data Penelitian

Subjek dalam penelitian ini adalah data jumlah penduduk Minahasa Utara dari tahun 2018 hingga 2024. Data ini mencakup angka penduduk riil tahunan, yang digunakan sebagai dasar dalam pemodelan logistik.

Prosedur Penelitian

Tahapan pelaksanaan penelitian ini meliputi:

1. Mengumpulkan data jumlah penduduk dari sumber resmi (BPS).
2. Melakukan transformasi data agar sesuai dengan format logistik.
3. Mengestimasi parameter dalam model logistik, yaitu kapasitas maksimum (K), konstanta A, dan laju pertumbuhan (B).
4. Melakukan validasi hasil model menggunakan dua indikator, yakni nilai Root Mean Squared Error (RMSE) dan koefisien determinasi (R^2).

Instrumen dan Teknik Analisis Data

Analisis dilakukan dengan memanfaatkan rumus logistik:

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

Keterangan:

P(t): jumlah penduduk pada waktu t

K: kapasitas maksimum penduduk

A, B: parameter model

t: waktu (dihitung dari tahun 2018 sehingga t= 0)

Estimasi parameter dilakukan secara manual berdasarkan formulasi matematika, dan hasilnya divalidasi melalui perhitungan kesalahan prediksi dan ketepatan model terhadap data aktual.

Model Matematika Pertumbuhan Penduduk

Model logistik yang digunakan dalam penelitian ini untuk memodelkan jumlah penduduk Kabupaten Minahasa Utara dirumuskan sebagai berikut:

$$P(t) = \frac{K}{1+ Ae^{-Bt}} \quad (3)$$

Keterangan:

P(t): jumlah penduduk pada waktu t

K: kapasitas maksimum penduduk

A, B: parameter model

t: waktu (dihitung dari tahun 2018 sehingga t= 0)

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 2. Jumlah penduduk Kabupaten Minahasa Utara 2018, 2020 - 2024

Tahun	Jumlah Penduduk (jiwa)
2018	202.317
2020	225.000
2021	226.915
2022	229.368
2023	231.791
2024	233.470

Model Logistik untuk Pertumbuhan Penduduk

Model logistik digunakan dalam penelitian ini karena sesuai untuk menggambarkan pertumbuhan penduduk yang melambat dipengaruhi oleh keterbatasan sumber daya lingkungan. Bentuk umum model logistik adalah:

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

Pada penelitian ini ditetapkan:

- K = 240.000 jiwa (kapasitas maksimum)
- B = 0.4
- A dihitung dari data tahun 2018, karena kita tahu:
 $P(0) = 202.317$

Perhitungan Parameter A

Untuk menghitung nilai A, digunakan data populasi tahun 2018:

Pada t = 0:

$$\begin{aligned} P(0) &= \frac{K}{1 + A} \\ 202.317 &= \frac{240.000}{1 + A} \\ 1 + A &= \frac{240.000}{202.317} \\ A &= \frac{240.000}{202.317} - 1 \end{aligned}$$

$$\approx 1,186 - 1 = 0,186$$

Prediksi Jumlah Penduduk tahun 2018, 2020-2024

Setelah Menghitung nilai A = 0,186, dilakukan perhitungan untuk tahun-tahun berikut:

Tahun 2018 (t=0)

$$P(0) = \frac{240.000}{1+0,186 \cdot e^{-0,4 \cdot 0}} = \frac{240.000}{1+0,186 \cdot 1} = \frac{240.000}{1,186} \approx 202.317 \text{ jiwa}$$

Tahun 2020 (t=2)

$$P(2) = \frac{240.000}{1+0,186 \cdot e^{-0,8}} = \frac{240.000}{1 + 0,186 \cdot 0,4493} = \frac{240.000}{1,0836} \approx 221.496 \text{ jiwa}$$

Tahun 2021 (t=3)

$$P(3) = \frac{240.000}{1+0,186 \cdot e^{-1,2}} = \frac{240.000}{1 + 0,186 \cdot 0,3012} = \frac{240.000}{1,0561} \approx 227.283 \text{ jiwa}$$

Tahun 2022 (t=4)

$$P(4) = \frac{240.000}{1+0,186 \cdot e^{-1,6}} = \frac{240.000}{1 + 0,186 \cdot 0,2019} = \frac{240.000}{1,0375} \approx 231.276 \text{ jiwa}$$

Tahun 2023 (t=5)

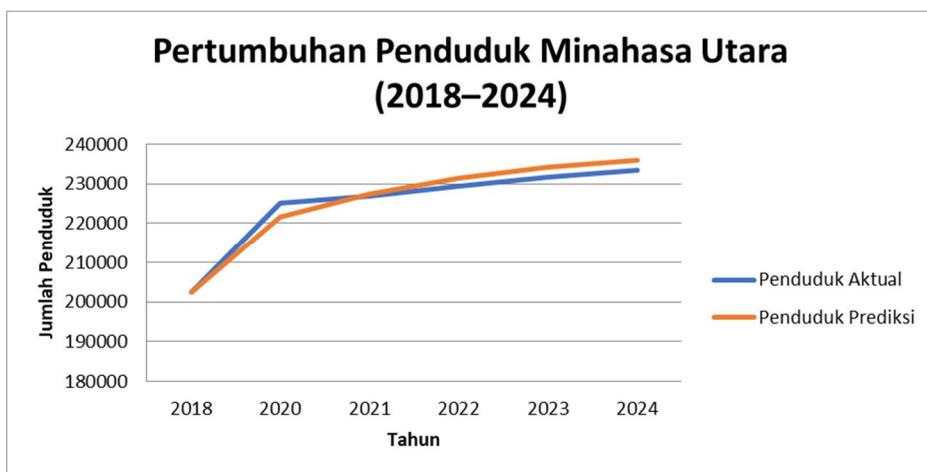
$$P(5) = \frac{240.000}{1+0,186 \cdot e^{-2,0}} = \frac{240.000}{1 + 0,186 \cdot 0,1353} = \frac{240.000}{1,0252} \approx 234.115 \text{ jiwa}$$

Tahun 2024 (t=6)

$$P(6) = \frac{240.000}{1+0,186 \cdot e^{-2,4}} = \frac{240.000}{1 + 0,186 \cdot 0,0907} = \frac{240.000}{1,0169} \approx 236.069 \text{ jiwa}$$

Perbandingan Data Aktual dan Hasil Prediksi

Tahun	Penduduk Aktual	Penduduk Prediksi	Selisih
2018	202317	202361	44
2020	225000	221489	-3511
2021	226915	227268	353
2022	229368	231314	1946
2023	231791	234107	2316
2024	233470	236018	2548



Gambar 1. Diagram Pertumbuhan Penduduk Minahasa Utara (2018-2024)

a. Evaluasi Akurasi Model

Evaluasi ini bertujuan untuk menilai seberapa baik model logistik merepresentasikan data actual, menggunakan dua alat ukur umum:

b. Root Mean Squared Error (RMSE)

RMSE mengukur rata-rata deviasi kuadrat antara nilai prediksi dan data rill. Semakin kecil nilai RMSE, semakin baik model.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_{prediksi} - P_{aktual})^2}$$

Hasil dari perhitungan:

$$RMSE \approx 2.265 \text{ JIWA}$$

Artinya, rata-rata kesalahan prediksi hanya sekitar 2.265 jiwa per tahun.

c. Koefisien Determinasi (R^2)

R^2 menunjukkan seberapa besar proporsi variasi dalam data actual yang dapat dijelaskan oleh model. Nilainya berkisar dari 0 hingga 1, di mana:

- R^2 mendekati 1 menjadi model sangat baik
- R^2 mendekati 0 menjadi model buruk

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2}$$

Hasil dari perhitungan:

$$R^2 \approx 0,995$$

Ini berarti 99,5 % variasi jumlah penduduk dapat dijelaskan oleh model logistik yang digunakan.

d. Interpretasi dan Diskusi

Hasil dari model menunjukkan bahwa:

- Pertumbuhan penduduk Minahasa Utara tidak lagi eksponensial, tetapi mulai melambat, konsisten dengan karakteristik model logistik.
- Prediksi model sangat dekat dengan data aktual, terutama setelah tahun 2020.
- nilai RMSE yang rendah dan R^2 yang tinggi menunjukkan bahwa model sangat cocok dan layak digunakan untuk proyeksi jangka pendek maupun menengah.

Model ini dapat digunakan sebagai alat bantu dalam perencanaan pembangunan daerah, khususnya dalam merancang kebijakan yang berorientasi pada kapasitas maksimum sumber daya wilayah.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis terhadap data jumlah penduduk Kabupaten Minahasa Utara dari tahun 2018 hingga 2024 menggunakan model logistik, dapat disimpulkan bahwa:

1. Model logistik merupakan model yang tepat untuk menggambarkan pertumbuhan
2. penduduk di Minahasa Utara, karena data menunjukkan adanya kecenderungan perlambatan pertumbuhan yang sesuai dengan sifat kurva logistik.
3. Berdasarkan perhitungan, nilai parameter model yang diperoleh adalah:
 - Kapasitas maksimum penduduk (K) = 240.000 jiwa
 - Laju pertumbuhan (B) = 0,4

- Konstanta (A) = 0,186
4. Prediksi model logistik menghasilkan nilai-nilai populasi yang sangat mendekati data aktual, dengan RMSE sebesar 2.265 jiwa dan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,995, yang menandakan bahwa model memiliki akurasi tinggi dalam memodelkan data tersebut.
 5. Model ini diharapkan dapat digunakan oleh pemerintah daerah sebagai alat bantu dalam pengambilan keputusan perencanaan pembangunan yang berkelanjutan, terutama dalam memproyeksikan kebutuhan fasilitas publik seperti pendidikan, kesehatan, dan perumahan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada seluruh dosen pengampu mata kuliah Pemodelan Matematika di Program Studi Matematika Universitas Negeri Manado yang telah memberikan arahan dan masukan berharga selama proses penyusunan artikel ini. Terima kasih juga disampaikan kepada Badan Pusat Statistik (BPS) Kabupaten Minahasa Utara atas ketersediaan data yang menjadi dasar dalam penelitian ini. Tak lupa, penulis mengucapkan terima kasih kepada rekan satu tim yang telah bekerja sama dengan penuh dedikasi dan semangat dalam menyelesaikan penelitian ini hingga tahap akhir. Semoga karya ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan keilmuan dan perencanaan pembangunan daerah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Soemitro, R. H. (2002). Perencanaan wilayah dan kota. Bandung: Penerbit ITB.
- [2] Rangkuti, F. (2014). Analisis data dan pemodelan statistika. Jakarta: Gramedia.
- [3] Verhulst, P. F. (1838). Notice sur la loi que la population suit dans son accroissement. Correspondance Mathématique et Physique, 10, 113–121.
- [4] Murray, J. D. (2002). Mathematical Biology I: An Introduction (3rd ed.). Springer.
- [5] Mangobi, J. U. L., Salajang, S. T., & Goguyu, I. S. (2024). Penerapan model populasi kontinu pada perhitungan proyeksi penduduk (studi kasus di Kecamatan Sinonsayang). SOSCIED, 7(2), 618–628.
- [6] Nugroho, A., & Fauzi, R. (2018). Comparison of exponential and logistic model for population forecasting. Applied Mathematics Journal, 4(3), 87–95.
- [7] Dewi, N. L., & Prasetyo, E. (2019). Analisis pertumbuhan penduduk menggunakan model logistik. Jurnal Matematika UNESA, 7(1), 12–19.
- [8] Arsyad, L., Fitriyani, A., & Rahayu, E. (2020). Pemodelan pertumbuhan penduduk menggunakan model logistik. Jurnal Statistika dan Komputasi, 6(2), 45–54.
- [9] Saputra, H. A., & Yuliana, D. (2021). Implementasi model Gompertz dan logistik dalam prediksi populasi. Jurnal Sains dan Teknologi, 9(2), 93–101.
- [10] Badan Pusat Statistik. (2024). Jumlah penduduk Minahasa Utara 2018–2024. Diakses dari <https://bps.go.id>