

Menentukan Parameter Persamaan Logistik dalam Mengestimasi Jumlah Penduduk Provinsi Jawa Barat

Silmi Sabila Faza, Onoy Rohaeni*

Prodi Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Islam Bandung, Indonesia.

ARTICLE INFO

Article history :

Received : 28/03/2024
Revised : 29/05/2024
Published : 13/06/2024



Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License.

Volume : 4
No. : 1
Halaman : 73-80
Terbitan : **Juli 2024**

ABSTRAK

Pertumbuhan penduduk memiliki dampak signifikan terhadap berbagai aspek pembangunan dan kebijakan publik suatu wilayah. Provinsi dengan tingkat pertumbuhan penduduk yang signifikan di Indonesia adalah Provinsi Jawa Barat. Dalam menghadapi tantangan pembangunan dan pengambilan kebijakan yang efektif, maka sangatlah penting dalam mengestimasi jumlah penduduk yang akurat. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan parameter persamaan logistik yaitu K (*carrying capacity*) dan r (laju pertumbuhan) untuk menghasilkan estimasi yang lebih akurat terhadap jumlah penduduk Provinsi Jawa Barat tahun 2000-2022. Model yang digunakan yaitu model pertumbuhan logistik yang diambil berdasarkan laju pertumbuhan per tahun dan model regresi melalui proses linearisasi dengan nilai r diambil berdasarkan rata-rata laju pertumbuhan model logistik. Berdasarkan kedua model tersebut didapatkan bahwa model pertumbuhan logistik terdapat peningkatan jumlah penduduk dari tahun sebelumnya dan tidak melebihi dari batas maksimum dengan nilai MSE dan RMSE terendah pada tahun 2015. Dengan kata lain, model ini lebih baik dibandingkan dengan model regresi sehingga dapat digunakan untuk estimasi jumlah penduduk selanjutnya.

Kata Kunci : Pertumbuhan Penduduk; Model Pertumbuhan Logistik; Model Regresi.

ABSTRACT

Population growth has a significant impact on various aspects of the development and public policy of a region. A province with a significant population growth rate in Indonesia is West Java Province. In facing the challenges of development and effective policy-making, it is very important to estimate the population accurately. This study aims to determine the parameters of the logistic equation, namely K (*carrying capacity*) and r (*growth rate*) to produce a more accurate estimate of the population of West Java Province in 2000-2022. The model used is a logistic growth model taken based on the growth rate per year and a regression model through a linearization process with the value of r taken based on the average growth rate of the logistic model. Based on the two models, it is found that the logistic growth model has an increase in population from the previous year and does not exceed the maximum limit with the lowest MSE and RMSE values in 2015. In other words, this model is better than the regression model so it can be used for further population estimation.

Keywords : Population Growth; Logistic Growth Model; Regression Model.

Copyright© 2024 The Author(s).

A. Pendahuluan

Era globalisasi dan pertumbuhan populasi sangat penting terutama bagi Provinsi Jawa Barat dengan melakukan perencanaan pembangunan berkelanjutan yang merupakan wilayah yang padat penduduk untuk menciptakan keseimbangan antara pertumbuhan populasi dengan ketersediaan sumber daya. Persamaan logistik sebagai model untuk pertumbuhan populasi yang menggambarkan dinamika pertumbuhan penduduk dari waktu ke waktu menjadi sangat efektif. Salah satu penanda pertumbuhan populasi yang dipengaruhi oleh jumlah kelahiran, kematian, dan migrasi adalah perubahan jumlah populasi setiap waktu [1].

Pertumbuhan jumlah penduduk sangat penting untuk mengetahui bagaimana jumlah penduduk berubah dari waktu ke waktu. Oleh karena itu, model logistik diperlukan untuk menggambarkan pertumbuhan jumlah penduduk. Model logistik merupakan model matematika yang menggambarkan pertumbuhan populasi dengan mempertimbangkan batasan daya tampung suatu wilayah. Model ini mengasumsikan bahwa pada waktu tertentu jumlah populasi akan mendekati titik kesetimbangan yang di mana pada titik jumlah kelahiran dan kematian dianggap sama sehingga grafik fungsi akan mendekati konstan [2].

Salah satu penggunaan model pertumbuhan logistik yang sering digunakan adalah mengestimasi pertumbuhan penduduk dan memastikan bahwa pertumbuhan populasi tidak melebihi *carrying capacity*. Model tersebut memiliki parameter-parameter seperti K (*carrying capacity*) dan r (laju pertumbuhan penduduk). *Carrying capacity* (daya tampung) merupakan jumlah maksimum individu yang dapat didukung oleh sumber daya yang tersedia pada suatu wilayah atau lingkungan tertentu tanpa ada penambahan atau penurunan jumlah populasi selama periode waktu yang relatif lama [3]. Jika populasi melebihi *carrying capacity*, maka dapat menyebabkan kerusakan lingkungan dan menurunkan kualitas hidup manusia dan hewan di wilayah tersebut. Laju pertumbuhan (r) dalam model logistik diatur oleh parameter pertumbuhan dan populasi saat ini yang menggambarkan laju di mana populasi tumbuh. Sehingga dalam konteks pertumbuhan penduduk, *carrying capacity* mengacu pada batasan maksimum populasi yang dapat didukung oleh lingkungan sedangkan laju pertumbuhan mengacu pada seberapa cepat populasi tersebut bertambah [4].

Pertimbangan terhadap daya tampung lingkungan mendefinisikan estimasi jumlah penduduk sebagai kunci dari perencanaan pembangunan dan dapat memodelkan pertumbuhan populasi pada persamaan logistik. Estimasi parameter persamaan logistik dilakukan dengan menggunakan Metode Kuadrat Terkecil (*Least-Squares*) yaitu meminimumkan data sebenarnya dengan data dari solusi model logistik untuk menentukan parameter-parameter tersebut melalui proses linearisasi. Metode kuadrat terkecil atau *least square method* adalah salah satu metode pendekatan yang paling penting untuk regresi ataupun pembentukan persamaan dengan mengestimasi nilai rata-rata dari variabel bebas dengan cara meminimumkan fungsi jumlah kuadrat *error* [5].

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka penulis tertarik untuk memperoleh model terbaik yang dapat mempresentasikan jumlah penduduk Provinsi Jawa Barat dengan menggunakan model pertumbuhan logistik dan model regresi, sehingga tujuan dari penelitian ini adalah (1) Untuk menentukan parameter persamaan logistik dalam mengestimasi jumlah penduduk Provinsi Jawa Barat melalui model pertumbuhan logistik dan model regresi; (2) Untuk mengetahui hasil estimasi jumlah penduduk Provinsi Jawa Barat menggunakan model pertumbuhan logistik dan model regresi.

B. Metode Penelitian

Tahapan Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif yang menggunakan model pertumbuhan logistik dan model regresi. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data jumlah penduduk Provinsi Jawa Barat yang diambil pada tahun 2000-2022. Data tersebut diperoleh dari *website* resmi Badan Pusat Statistika Jawa Barat mengenai data kependudukan.

Adapun langkah-langkah yang digunakan setelah diperoleh data jumlah penduduk maka dapat dilakukan analisis data menggunakan model pertumbuhan logistik dan model regresi adalah sebagai berikut:

Membentuk model persamaan differensial Verhulst/logistik [6]

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

Memperoleh solusi khusus dari persamaan differensial.

$$P = \frac{K}{e^{-rt} \left(\frac{K}{P_0} - 1 \right) + 1} \tag{2}$$

Menentukan waktu yang diukur dan jumlah populasi awal serta populasi pada tahun selanjutnya yang dimisalkan saat $t = 0$ yaitu P_0 , saat $t = 1$ yaitu P_1 dan seterusnya.

Menentukan *carrying capacity* dan mencari laju pertumbuhan penduduk menggunakan solusi khusus model pertumbuhan logistik.

Melakukan perhitungan MAE, MSE, RMSE dan MAPE pada model pertumbuhan logistik untuk dipilih model terbaik dengan *error* paling kecil dan memiliki hasil yang cukup dekat dengan data jumlah penduduk Provinsi Jawa Barat.

Mencari solusi pada persamaan regresi linear yang dibentuk dari persamaan normal [7]

$$A^T A x = A^T b \tag{3}$$

Memperoleh solusi akhir regresi.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x \tag{4}$$

Linearisasi model pertumbuhan logistik dengan membentuk persamaan regresi linear.

$$\frac{1}{P} = \frac{1}{K} + \frac{c}{K} e^{-rt} \tag{5}$$

Menghitung β_0 dan β_1 dari hasil linearisasi untuk mendapatkan parameter K dan r dari model regresi.

Menghitung jumlah penduduk di Provinsi Jawa Barat dengan perhitungan model pertumbuhan logistik serta model regresi.

Melakukan perhitungan MAE, MSE, RMSE dan MAPE pada model regresi.

Validasi model melalui grafik dengan model pertumbuhan logistik dan model regresi.

Penggunaan model pertumbuhan logistik dan model regresi dalam mengestimasi jumlah penduduk Provinsi Jawa Barat tahun 2023.

Model Pertumbuhan Logistik

Model pertumbuhan logistik adalah sebuah model pertumbuhan populasi. Pada tahun 1838, model pertumbuhan logistik atau sering disebut model Verhulst diperkenalkan oleh seorang matematikawan dan ahli biologi berkebangsaan Belanda yaitu Pierre Francois Verhulst. Model pertumbuhan logistik menggunakan kaidah logistik bahwa persediaan logistik ada batasnya. Asumsi yang digunakan dalam pertumbuhan populasi yang dibatasi oleh logistik [6], yaitu (1) Laju kelahiran (β) adalah konstan; (2) Laju kematian (α) tidaklah konstan (linear); (3) Model pertumbuhan ini merupakan pengembangan dari model eksponensial dengan asumsi-asumsi lainnya adalah sama yaitu tidak ada struktur genetik, tidak ada perbedaan umur, migrasi diabaikan, dan tidak adanya waktu tunda.

Estimasi Parameter Regresi Linear

Estimasi adalah proses yang menggunakan sampel statistik untuk menduga atau memperkirakan hubungan parameter populasi yang tidak diketahui. Estimasi juga merupakan suatu pernyataan mengenai parameter populasi yang diketahui berdasarkan informasi dari sampel. Jadi, estimasi ini dapat diketahui dari keadaan parameter populasi [8].

Regresi linear adalah metode statistika yang digunakan untuk membentuk model hubungan antara variabel terikat dengan satu atau lebih variabel bebas. Jika banyaknya variabel bebas hanya ada satu, maka disebut sebagai regresi linear sederhana. Sedangkan jika terdapat lebih dari satu variabel bebas, maka disebut sebagai regresi linear berganda [9]. Secara umum bentuk persamaan regresi dimana Y merupakan nilai yang diprediksi adalah:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x$$

Metode Kuadrat Terkecil (*Least Square Method*)

Metode kuadrat terkecil (*Least Square Method*) adalah salah satu metode aproksimasi (pendekatan) yang paling penting dalam keteknikan. Metode ini digunakan untuk pembentukan persamaan atau regresi dari titik data diskritnya (dalam pemodelan) dan untuk analisis pengukuran (validasi model). Metode kuadrat terkecil termasuk dalam metode-metode pendekatan kesalahan terdistribusi (*distributed error approximation methods*). Berdasarkan sifat kerjanya yang melakukan pengurangan kesalahan global (*global error*) yang diukur berdasarkan interval pendekatan keseluruhan yang diatur sesuai dengan permintaan pendekatan yang meningkat. Dalam metode ini akan ditunjukkan bagaimana proyeksi ortogonal dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan mengenai aproksimasi [7].

Teorema: Aproksimasi Terbaik

Jika W adalah sebuah subruang berdimensi terhingga dari suatu ruang hasilkali dalam V , dan jika u adalah sebuah vektor pada V , maka $proj_W u$ adalah **aproksimasi terbaik** (best approximation) bagi u pada W , dalam pengertian bahwa :

$$\|u - proj_W u\| < \|u - w\|$$

Untuk setiap vektor w pada W yang bukan $proj_W u$.

Berdasarkan Teorema Aproksimasi Terbaik bahwa vektor terdekat dari b di dalam W adalah proyeksi orthogonal b pada W . Sehingga, jika sebuah vektor x dapat menjadi solusi kuadrat terkecil dari $Ax = b$ maka vektor ini harus memenuhi :

$$Ax = proj_W b$$

Pertumbuhan Penduduk

Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI), pertumbuhan penduduk adalah bertambah atau berkurangnya jumlah penduduk di suatu daerah. Pertumbuhan penduduk tidak hanya membahas mengenai jumlah manusia yang lahir tetapi membahas mengenai jumlah penduduk yang mengalami kematian. Pada suatu wilayah, angka kelahiran dan angka kematian perlu diperhatikan supaya pertumbuhan penduduk seimbang sehingga kehidupan penduduk dapat sejahtera [10]

Laju pertumbuhan penduduk adalah angka yang menunjukkan persentase penambahan penduduk dalam jangka waktu tertentu [11]. Kegunaan laju pertumbuhan penduduk pada perubahan jumlah penduduk di suatu wilayah tertentu pada waktu tertentu adalah memprediksi jumlah penduduk di suatu wilayah untuk masa yang akan datang.

C. Hasil dan Pembahasan

Data Jumlah Penduduk Provinsi Jawa Barat

Data jumlah penduduk di Provinsi Jawa Barat dalam melakukan estimasi dapat dilakukan perhitungan dari tahun sebelumnya agar dapat mengetahui kecenderungan dan arah dari data yang digunakan. Jumlah data yang digunakan akan mempengaruhi keakuratan model dalam memprediksi jumlah penduduk secara menyeluruh.

Berdasarkan data yang diperoleh dari *website* Badan Pusat Statistika Provinsi Jawa Barat pada tahun 2000-2022, maka sampel data yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah jumlah penduduk Provinsi Jawa Barat seperti yang ada pada tabel 1 berikut ini:

Tabel 1. Data Jumlah Penduduk Provinsi Jawa Barat Tahun 2000-2022

Tahun	Jumlah Penduduk
2000	35.723.473
2001	36.075.322
2002	36.914.883
2003	37.980.422
2004	39.140.812
2005	39.960.869
2006	40.737.594
2007	41.483.729
2008	42.194.869
2009	42.693.951
2010	43.227.107
2011	43.938.796
2012	44.643.586
2013	45.340.799
2014	46.029.668
2015	46.709.569
2016	47.379.389
2017	48.037.827
2018	48.683.861
2019	49.316.712
2020	49.935.858
2021	48.782.400
2022	49.405.810

Sumber: *Website* BPS Provinsi Jawa Barat

Penyelesaian Model Pertumbuhan Logistik

Berdasarkan data pada Tabel 1, dilakukan estimasi jumlah penduduk Provinsi Jawa Barat dengan $t = 0,1,2$ pada tahun 2000, 2001, 2002 dengan masing-masing nilai $P_0 = 35.723.473$, $P_1 = 36.075.322$, $P_2 = 36.914.883$ sehingga persamaan daya tampung (*carrying capacity*) dapat dituliskan menjadi:

$$K = \frac{P_1(P_2P_1 - 2P_2P_0 - P_0P_1)}{(P_1^2 - P_2P_0)} \tag{6}$$

Sehingga diperoleh nilai $K = 54.105.263$ dari persamaan (6) yang merupakan nilai daya tampung model pertumbuhan logistik jumlah penduduk provinsi Jawa Barat tahun 2000-2022.

Selanjutnya nilai K dan P_0 disubstitusikan pada persamaan (2) yaitu solusi khusus dari persamaan differensial logistik, sehingga akan diperoleh:

$$P_t = \frac{54.105.263}{e^{-rt}(0.514558) + 1} \tag{7}$$

Setelah mendapatkan persamaan (7), maka akan dicari model logistik dengan nilai $t = 1$ pada tahun 2001 dengan nilai $P_1 = 36.075.322$, sehingga akan diperoleh:

$$36.075.322 = \frac{54.105.263}{e^{-r(1)}(0.514558) + 1} \tag{8}$$

$$r = 0.029128 \tag{9}$$

Nilai r yang diperoleh akan disubstitusikan kembali ke persamaan (2) sehingga terbentuk model pertumbuhan logistik 1 yang dinyatakan dengan model berikut:

$$P_1 = \frac{54.105.263}{e^{-(0.029128)1}(0.514558) + 1} \tag{10}$$

Hasil laju pertumbuhan selanjutnya yang dihitung per tahun dan seterusnya dapat menggunakan perhitungan dengan langkah yang sama sehingga diperoleh nilai $K = 54.105.263$ pada model pertumbuhan logistik.

Setelah hasil laju pertumbuhan logistik didapatkan, maka akan dipilih model terbaik yang memiliki *error* paling kecil dan memiliki hasil yang cukup dekat dengan data jumlah penduduk Provinsi Jawa Barat untuk mendapatkan laju pertumbuhan dari 22 tahun.

Berdasarkan masing-masing keseluruhan data, setiap nilai *error* model pertumbuhan logistik yang dimiliki, maka $t = 15$ atau tahun 2015 dengan laju pertumbuhan (r) sebesar 0,07857 atau 7,86% sehingga model pertumbuhan logistik yang terbentuk yaitu:

$$P_{15} = \frac{54.105.263}{e^{-(0.07857)15}(0.514558) + 1} \tag{11}$$

Merupakan model yang hasilnya mendekati dengan data jumlah penduduk Provinsi Jawa Barat. Hal tersebut diperkuat dengan hasil yang sama berdasarkan nilai MSE dan RMSE pada tahun 2015 dikarenakan terdapat nilai *error* yang lebih rendah secara keseluruhan (dalam satuan yang sama dengan data).

Selanjutnya, untuk menentukan parameter K dan r pada model regresi akan dilakukan perhitungan pada parameter β_0 dan β_1 menggunakan *least square method* yang telah melalui proses linearisasi pada persamaan (5) sebagai berikut:

$$\beta_1 = \frac{(n \sum_{t=0}^n x_t y_t - \sum_{t=0}^n x_t \sum_{t=0}^n y_t)}{(n \sum_{t=0}^n x_t^2) - (\sum_{t=0}^n x_t)^2}$$

$$\beta_1 = \frac{(n \sum_{t=0}^n e^{-rt} \cdot (\frac{1}{P_t}) - \sum_{t=0}^n e^{-rt} \cdot \sum_{t=0}^n (\frac{1}{P_t}))}{(n \sum_{t=0}^n e^{-rt^2}) - (\sum_{t=0}^n e^{-rt})^2}$$

$$\beta_1 = \frac{(23 * 0,000000279965582) - 11,51162452 * (0,00000053247)}{(23 * 7,068395242) - (11,51162452)^2}$$

$$\beta_1 = 0,0000000103$$

Setelah mendapatkan β_1 , maka akan menghitung β_0 sebagai berikut:

$$\beta_0 = \frac{(\sum_{t=1}^n y_t - \sum_{t=1}^n x_t * \beta_1)}{n}$$

$$\beta_0 = \frac{(n \sum_{t=0}^n (\frac{1}{P_t}) - \sum_{t=0}^n e^{-rt} \cdot \beta_1)}{n}$$

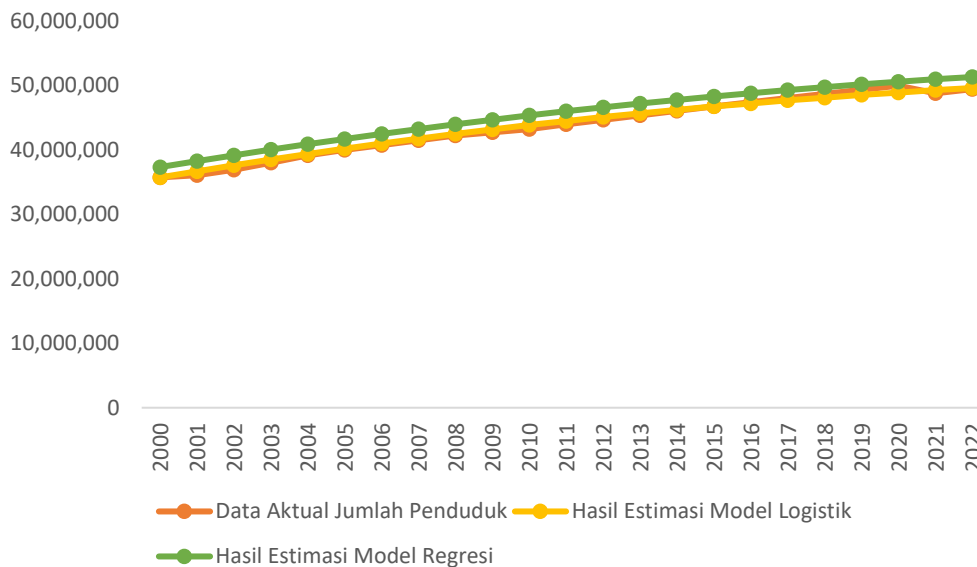
$$\beta_0 = \frac{(0,00000053247 - (11,51162452 * 0,0000000103))}{23}$$

$$\beta_0 = 0,0000000180$$

Setelah mendapatkan β_0 dan β_1 , maka akan menghitung nilai parameter K pada model regresi:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{P_0} - \beta_1} = \frac{1}{\frac{1}{35.723.473} - 0,0000000103} = 56.527.507$$

Parameter K yang dihitung berdasarkan proses linearisasi sebesar 56.527.507 sedangkan untuk parameter $r = 0,07347127$ atau 7,35% pada model regresi yang diambil berdasarkan rata-rata laju pertumbuhan model logistik yang diambil tahun 2000-2022.



Gambar 1. Grafik Hasil Estimasi

Hasil dari estimasi pada gambar (1) menunjukkan bahwa model pertumbuhan logistik memberikan hasil prediksi yang mendekati dengan data aktual dibandingkan dengan model regresi.

Selanjutnya, untuk melakukan perhitungan estimasi jumlah penduduk pada tahun 2023 dengan parameter K dan r yang sudah didapatkan dari model pertumbuhan logistik dan model regresi, maka dapat disubstitusikan pada persamaan (2) sebagai berikut:

Model Pertumbuhan Logistik:

$$P_{23} = \frac{54.105.263}{e^{-(0.07857)23}(0.514558) + 1} = \frac{54.105.263}{1.084453263} = 49.891.743$$

Model Regresi:

$$P_{23} = \frac{56.527.507}{e^{-(0.07347127)23}(0.514558) + 1} = \frac{56.527.507}{1.094961264} = 51.625.120$$

Kemudian, menghitung nilai *error* pada model pertumbuhan logistik dan model regresi yang dapat disajikan dalam tabel berikut ini:

Tabel 2. Hasil Nilai Error

Model	MAE	MSE	RMSE	MAPE
Model Pertumbuhan Logistik	390.442	216.476.217.759	465.270	0,89%
Model Regresi	1.695.769	3.051.613.802.220	1.746.887	3,98%

Sehingga berdasarkan tabel (2) didapatkan bahwa model pertumbuhan logistik memiliki nilai *error* paling kecil. Hal ini berarti, model pertumbuhan logistik dapat digunakan untuk estimasi selanjutnya dikarenakan memiliki hasil nilai *error* yang paling kecil dibandingkan dengan model regresi.

D. Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan yang telah diuraikan sebelumnya, maka dapat disimpulkan bahwa model pertumbuhan logistik dihitung dari laju pertumbuhan per tahun selama 22 tahun dan model regresi melibatkan perhitungan melalui proses linearisasi. Perhitungan dari kedua model tersebut dilakukan dengan menghitung nilai *error* seperti MAE, MSE, RMSE, dan MAPE. Sehingga menentukan parameter persamaan logistik untuk mengestimasi jumlah penduduk Provinsi Jawa Barat adalah dengan menentukan nilai K (*carrying capacity*) yang membatasi penduduk di Provinsi Jawa Barat pada model pertumbuhan logistik sebesar 54.105.263 jiwa dengan laju pertumbuhan (r) sebesar 7,86% sedangkan model regresi sebesar 56.527.507 jiwa dengan laju pertumbuhan (r) sebesar 7,35%. Sehingga hasil estimasi jumlah penduduk Provinsi Jawa Barat pada tahun 2023 menggunakan model pertumbuhan logistik sebesar 49.891.743 jiwa dan model regresi sebesar 51.625.120 jiwa. Hal ini berarti, model pertumbuhan logistik lebih baik digunakan untuk estimasi selanjutnya.

Daftar Pustaka

- [1] Kusbudiono and B. Widodo, "Pengaruh Faktor Pertumbuhan Populasi Terhadap Epidem Demam Berdarah Dengue," in *Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA*, 2011, pp. M–210.
- [2] C. Christiani, P. Tedjo, and B. Martono, "Analisis Dampak Kepadatan Penduduk Terhadap Kualitas Hidup Masyarakat Provinsi Jawa Tengah," *Jurnal Ilmiah UNTAG Semarang*, vol. 3, no. 1, p. 103, 2014.
- [3] D. Zulkarnaen, "Proyeksi Populasi Penduduk Kota Bandung Menggunakan Model Pertumbuhan Populasi Verhulst dengan Memvariasikan Interval Pengambilan Sampel," *Jurnal Kajian Islam, Sains dan Teknologi (ISTEK)*, vol. VIII, no. 1, p. 130, 2014.
- [4] N. Nurmadhani and Faisol, "Penerapan Model Pertumbuhan Logistik Dalam Memprediksi Jumlah Penduduk di Kabupaten Sumenep," *Jurnal Edukasi dan Sains Matematika (JES-MAT)*, vol. 8, no. 2, 2022.
- [5] R. A. Putri, "Perbedaan Parameter dan Variabel," *Media Berbagi Ilmu Pengetahuan*. Accessed: Jun. 23, 2023. [Online]. Available: <https://igun.uk/perbedaan-parameter-dan-variabel/>
- [6] N. Rozikin, K. Sarjana, and N. Hikmah, "Aplikasi Persamaan Diferensial Dalam Mengestimasi Jumlah Penduduk dengan Menggunakan Model Eksponensial dan Logistik," *Griya Journal of Mathematics Education and Application*, vol. 1, no. 1, 2021, [Online]. Available: <https://mathjournal.unram.ac.id/index.php/Griya/index>
- [7] H. Anton and Rorres Chris, *Aljabar Linear Elementer Versi Aplikasi*, Edisi Kedelapan., vol. 1. Jakarta: Penerbit Erlangga, 2004.
- [8] M. I. Hasan, *Pokok-Pokok Materi Statistik 1 (Statistik Deskriptif)*. Jakarta: PT. Bumi Aksara, 2002.
- [9] D. Kurniawan, "Regresi Linier (Linear Regression)," *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, pp. 1–2, 2008. Accessed: Jun. 25, 2023. [Online]. Available: <http://www.R-project.org>
- [10] Fiska R, "Pertumbuhan Penduduk: Rumus, Jenis, Faktor," *Gramedia Blog*. Accessed: Aug. 13, 2023. [Online]. Available: <https://www.gramedia.com/literasi/pertumbuhan-penduduk/>
- [11] Badan Pusat Statistik, *Provinsi Jawa Barat Dalam Angka 2023*. Provinsi Jawa Barat: BPS Provinsi Jawa Barat, 2023.