

PEMODELAN LOGISTIK DALAM ESTIMASI PERTAMBAHAN VOLUME SAMPAH DI KOTA MEDAN MENGGUNAKAN MODEL VERHULST (*Logistic Modeling In Additional Estimation Of Waste In Medan City Using The Model Verhulst*)

Rahma Aulia^{1,a}, Nova Audry Utami², Sabrina Nasution³, Riska Aulia⁴, Rima Aprilia⁵

¹Universitas Islam Negeri Sumatera Utara [Email: rahma170203@gmail.com]

²Univeritas Islam Negeri Sumatera Utara [Email: novaaudryutami@gmail.com]

³Universitas Islam Negeri Sumatera Utara [Email: sabrinanst4@gmail.com]

⁴Universitas Islam Negeri Sumatera Utara [Email: auliriska1003@gmail.com]

⁵Universitas Islam Negeri Sumatera Utara [Email : rima_aprilia@uinsu.ac.id]

^arahma170203@gmail.com

ABSTRAK

Sampah merupakan masalah besar di kota-kota besar. Salah satu kota di Indonesia yang mempunyai permasalahan sampah adalah Kota Medan dengan jumlah penduduk sebanyak 2,54 juta jiwa. Keadaan Kota Medan saat ini menghasilkan sampah sekitar 2000 ton per harinya. Gaya hidup masyarakat yang semakin konsumernis turut berkontribusi terhadap meningkatnya jumlah sampah yang akan dihasilkan. Solusi yang dapat digunakan untuk memproyeksi jumlah sampah di kota Medan yaitu menggunakan model pertumbuhan logistik. Model ini digunakan untuk menghitung laju pertumbuhan dan kapasitas daya tampung dengan menggunakan data jumlah sampah masuk di kota Medan tahun 2021-2023. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa daya tampung sampah masuk adalah 491.490 ton. Model ini juga memproyeksi atau memprediksi jumlah sampah masuk di kota Medan pada tahun 2024-2030. Dengan perhitungan menggunakan model logistik, maka diperoleh jumlah prediksi sampah pada tahun 2024 berjumlah 490.764 ton hingga tahun 2030 berjumlah 491.489 ton.

Kata kunci: Pemodelan Logistik, sampah, Model Verhulst

ABSTRACT

Garbage is a big problem in big cities. One of the cities in Indonesia that has a waste problem is Medan City with a population of 2.54 million people. The current state of Medan City produces around 2000 tons of waste per day. Society's increasingly consumerist lifestyle also contributes to the increasing amount of waste produced. The solution that can be used to project the amount of waste in the city of Medan is to use a logical growth model. This model is used to calculate the growth rate and carrying capacity using data on the amount of waste entering the city of Medan in 2021-2023. The results obtained show that the incoming waste capacity is 491,490 tons. This model also projects or predicts the amount of waste entering the city of Medan in 2024-2030. By calculating using a logistic model, the predicted amount of waste in 2024 is 490,764 tons until 2030 is 491,489 tons.

Keywords: Logistic Modeling, waste, Verhulst model

1. PENDAHULUAN

Meningkatnya pertumbuhan penduduk mempunyai dampak yang berbeda-beda terhadap berbagai aspek kehidupan sosial, seperti sampah yang dihasilkan dalam aktivitas rumah tangga sehari-hari, termasuk kotoran dan sampah tidak berbahaya. Banyak kota-kota besar yang belum berbuat banyak untuk mengatasi masalah sampah, yang berdampak negatif pada perubahan keseimbangan lingkungan, yaitu timbulnya pencemaran air, udara dan tanah. Pemerintah tidak bisa menyelesaikan permasalahan sampah

sendirian karena diperlukan kesadaran masyarakat untuk mengurangi timbulan sampah setiap tahunnya[1].

Laju pertumbuhan penduduk dan perubahan kebiasaan konsumsi penduduk seperti perubahan pendapatan, pertumbuhan ekonomi, urbanisasi, dan perkembangan industri juga menyebabkan jumlah sampah di suatu wilayah terus meningkat. Sampah merupakan masalah besar di kota-kota besar. Salah satu kota di Indonesia yang mempunyai permasalahan sampah adalah Kota Medan dengan jumlah penduduk sebanyak 2,54 juta jiwa. Keadaan Kota Medan saat ini menghasilkan sampah sekitar 2000 ton per harinya[2].

Permasalahan TPA sudah menjadi permasalahan klasik di kota-kota besar khususnya Kota Medan dan hingga saat ini belum terselesaikan secara tuntas. Gaya hidup masyarakat yang semakin konsumneris turut berkontribusi terhadap meningkatnya jumlah sampah yang akan dihasilkan. Kesadaran masyarakat terhadap alternatif pengolahan sampah masih kurang dan akar permasalahannya adalah belum membentuk budaya perilaku bersih dan sehat[1].

Permasalahan umum dalam pengelolaan sampah adalah rendahnya kesadaran masyarakat untuk menghindari membuang sampah di dasar sungai. Masalah utama dalam pengelolaan limbah adalah kurangnya kesadaran masyarakat untuk tidak menjatuhkan sampah ke dasar sungai. Karena semakin sulitnya menemukan tempat pembuangan sampah yang layak dan transportasi sampah yang tidak memadai, masyarakat membuang sampah di tepi sungai. Karena semakin sulit menemukan lokasi pembuangan yang sesuai dan keterbatasan transportasi limbah, warga sering membuang sampah di pinggir sungai. Selain itu, minimnya sarana dan prasarana pendukung pembuangan sampah menyebabkan masyarakat sembarangan membuang sampah ke sungai dan sumber lainnya. Di samping itu, keterbatasan fasilitas dan infrastruktur untuk pembuangan sampah membuat orang-orang sembarangan membuang sampah ke sungai dan tempat lainnya[3].

2. METODE PENELITIAN

Model Verhulst adalah model matematika untuk memprediksi suatu pertumbuhan. Pertumbuhan merupakan proses yang berkesinambungan, dan terdapat beberapa model pertumbuhan yang berkelanjutan, seperti model logistik dan model eksponensial. Kebanyakan persamaan diferensial nonlinier tidak dapat diselesaikan secara analitis. Persamaan diferensial yang tidak dapat diselesaikan secara analitik juga dapat diselesaikan secara numerik. Semakin tinggi orde suatu persamaan diferensial, semakin sulit mencari penyelesaian secara analitis. Oleh karena itu, solusi menggunakan metode numerik adalah bagaimana menemukan solusi perkiraan. Dengan pendekatan kuantitatif dan metode pemodelan matematika berbasis persamaan logistik Verhulst, penelitian ini mengembangkan model untuk memprediksi pertambahan volume sampah. Model ini divalidasi menggunakan data primer dan sekunder, dan bertujuan untuk meningkatkan efisiensi perencanaan pengelolaan sampah. Adapun tahapan penelitian dalam peramalan pertumbuhan estimasi sampah menggunakan persamaan model Verhulst antara lain:

2.1 Pengumpulan Data

Tahapan penelitian diawali dengan pengumpulan data. Data primer dikumpulkan melalui observasi lapangan (pengukuran volume sampah), serta pengukuran volume sampah secara berkala. Sebagai pelengkap, data sekunder diperoleh dari sumber resmi seperti SIPSN (Sistem Informasi Pengelolaan Nasional), lembaga pengelola sampah (data historis produksi sampah), dan dokumen kebijakan pengelolaan sampah di wilayah studi.

2.2 Analisis Data

1) Persiapan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini telah melalui proses persiapan yang meliputi pembersihan dan penyusunan untuk menjamin kelengkapan dan konsistensi. Normalisasi data dilakukan sebagai langkah untuk meminimalkan dampak outlier yang tidak signifikan terhadap hasil analisis.

2) Penentuan Parameter Model Verhulst

Penentuan parameter-parameter model pertumbuhan logistik Verhulst dilakukan. Parameter k mewakili kapasitas lingkungan, yaitu jumlah maksimum volume sampah yang dapat ditampung oleh sistem pengelolaan yang diteliti. Parameter r merepresentasikan laju pertumbuhan volume sampah,

yang diestimasi berdasarkan data historis. Terakhir, parameter P_0 menunjukkan volume sampah pada waktu awal penelitian.

- 3) Menghitung kapasitas daya tampung (*carrying capacity*) menggunakan model verhulst melalui persamaan[4]:

$$K = \frac{P_1(2P_0P_2 - P_2P_1 - P_0P_1)}{P_0P_2 - (P_1)^2} \quad (1)$$

Keterangan :

K = Kapasitas

P_0 = Jumlah populasi awal Jumlah

P_1 = populasi data ke-2 Jumlah

P_2 = populasi data ke-3

- 4) Kemudian dilanjutkan menggunakan Persamaan diferensial logistik verhulst, untuk mencari k (Laju berkembangnya populasi) untuk memodelkan model yang efektif dengan menggunakan model logistik, yakni dengan model logistik verhulst:

$$P(t) = \frac{K}{e^{-kt} \left(\frac{K}{P_0} - 1 \right) + 1} \quad (2)$$

Keterangan :

$P(t)$ = Populasi pada saat waktu t

K = Kapasitas

P_0 = Jumlah populasi awal

k = Laju berkembangnya populasi

- 5) Validasi

Parameter model dihitung dengan menyesuaikan model logistik ke data historis menggunakan metode regresi non-linear.

- 6) Simulasi Prediksi

- Melakukan simulasi pertumbuhan volume sampah pada tahun kedepan dengan rentan tahun 2024-2030.
- Menggunakan model untuk memprediksi volume sampah dengan memanfaatkan data historis pada tahun 2021-2023.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang dipakai merupakan data banyak bolome sampah yang masuk ke lokasi TPA

Tabel 1 Data jumlah volume sampah di TPA Terjun

No	Tahun	Banyak sampah masuk TPA Terjun (dalam Ton)
1	2021	328.500
2	2022	457.772
3	2023	486.493

Sumber Data: Diambil dari BPS Sumatera Utara Bulan November 2024

Berdasarkan data yang telah tertera pada Tabel 1 dari Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional

(SPISN) tahun 2021-2023 terdapat kenaikan serta penurunan volume sampah di kota medan. Dengan menggunakan perhitungan model logistik (Verhulst) dapat diperhitungkan pertambahan volume sampah sebagai berikut:

1. Menghitung banyak daya tampung (K)

Diasumsikan waktu (t) diukur pada periode tertentu, dan misalkan pada tahun 2021 adalah P_0 . Mekan persamaan daya tampung dapat dituliskan sebagai berikut:

$$K = \frac{P_1(2P_0P_2 - P_2P_1 - P_0P_1)}{P_0P_2 - (P_1)^2}$$

$$= \frac{457.772(2(328.500 \times 486.493) - (486.493 \times 457.772) - (328.500 \times 457.772))}{(328.500 \times 486.493) - (457.772)^2}$$

$$K = 491.490$$

2. Menentukan model menggunakan persamaan model logistik

Setelah diperoleh nilai K, kemudian substitusi nilai tersebut ke persamaan model logistik sebagai berikut:

Model I :

$$K = 491.490$$

$$P_1 = 457.772$$

$$t = 1$$

Kemudian substitusi ke persamaan model logistik:

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

$$457.772 = \frac{491.490}{e^{-k} (0,4961643835) + 1}$$

$$e^{-k} (0,4961643835) = 0,0736568$$

$$e^{-k} = 0,148452$$

$$k = -\ln(0,148452)$$

$$k = 1,90749$$

Maka dapat disimpulkan model I adalah sebagai berikut:

$$P_{(t)} = \frac{491.490}{e^{-(1,90749)t} (0,4961643835) + 1}$$

Model II :

$$K = 491.490$$

$$P_1 = 486.493$$

$$t = 2$$

Kemudian substitusi kepersamaan model logistik:

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

$$486.493 = \frac{491.490}{e^{-2k} (0,4961643835) + 1}$$

$$e^{-2k} (0,4961643835) = 0,010275$$

$$e^{-2k} = 0,0207089$$

$$-2k = \ln(0,148452)$$

$$k = \frac{-3,87719}{-2}$$

$$k = 1,938595$$

Maka dapat disimpulkan model II adalah sebagai berikut:

$$P_{(t)} = \frac{491.490}{e^{-(1,938595)t} (0,4961643835) + 1}$$

3. Perhitungan jumlah sampah berdasarkan 2 model

1. Perhitungan berdasarkan model I:

Diketahui:

$$k = 1,90749$$

$$P_0 = 328.500$$

$$t = 0$$

maka:

$$\begin{aligned} P_{(t)} &= \frac{491.490}{e^{-(1,90749)t} (0,4961643835) + 1} \\ &= \frac{491.490}{e^{-(1,90749)0} (0,4961643835) + 1} \\ &= 328.500 \end{aligned}$$

2. Perhitungan berdasarkan model II :

Diketahui:

$$k = 1,938595$$

$$P_0 = 328.500$$

$$t = 0$$

maka:

$$\begin{aligned} P_{(t)} &= \frac{491.490}{e^{-(1,938595)t} (0,4961643835) + 1} \\ &= \frac{491.490}{e^{-(1,938595)0} (0,4961643835) + 1} \\ &= 328.500 \end{aligned}$$

Maka dapat disimpulkan hasil jumlah sampah dikota Medan pada tahun 2021-2023 berdasarkan dari 2 model logistik diatas disajikan pada tabel berikut:

Tabel 2 Perbandingan antara hasil data asli dan hasil model pada jumlah sampah di kota Medan

Tahun	Data Asli	Model I	Galat	Model II	Galat
2021	328.500	328.500	0%	328.500	0%
2022	457.772	460.566	0,006%	458.735	0,002%
2023	486.493	486.173	0,0006%	486.491	0,000004%

Berdasarkan tabel, terlihat bahwa perbandingan antara hasil data asli dengan merupakan eror paling terkecil dibanding dengan model I. Maka dengan kata lain, model logistik II dapat digunakan untuk memprediksi jumlah sampah masuk (Ton) untuk beberapa tahun yang akan datang.

4. Prediksi jumlah sampah masuk dikota Medan Tahun 2024-2030

Karena model logistik II yang akan digunakan untuk memprediksi jumlah sampah masuk dikota Medan pada tahun 2024-2030. Maka persamaan model logistik yang akan digunakan adalah sebagai berikut.

$$P_{(t)} = \frac{491.490}{e^{-(1,938595)t} (0,4961643835) + 1}$$

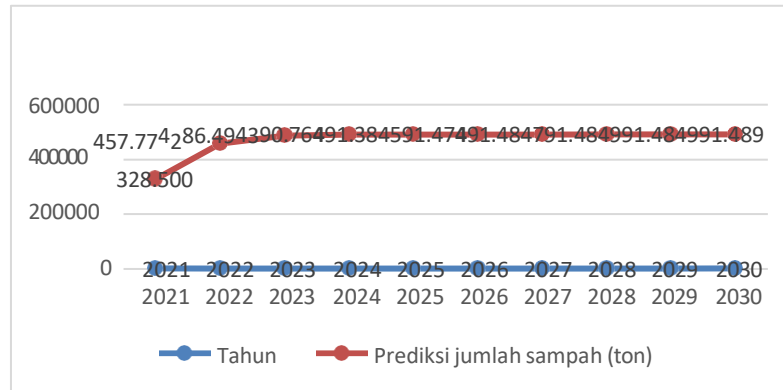
Selanjutnya dari model logistik II akan terlebih dahulu memprediksi jumlah sampah pada tahun 2024 dengan mengambil $t = 2024 - 2021$, maka $t=3$ dan diperoleh :

$$\begin{aligned} P_{(3)} &= \frac{491.490}{e^{-(1,938595)3} (0,4961643835) + 1} \\ &= 490.764 \end{aligned}$$

Jadi, diperoleh hasil perhitungan jumlah sampah masuk (Ton) di kota Medan pada tahun 2024 dengan menggunakan model logistik II yaitu 490.764 ton. Dengan cara yang sama, dari model logistik II dapat diperoleh prediksi jumlah sampah dari tahun 2025-2030. Prediksi jumlah sampah dikota medan pada tahun 2024-2030 dapat disajikan pada tabel berikut:

Tabel 3 Prediksi jumlah sampah dikota Medan tahun 2024-2030

Tahun	Hasil Prediksi
2024	490.764
2025	491.385
2026	491.474
2027	491.487
2028	491.489
2029	491.489
2030	491.489



Gambar 1 Grafik prediksi sampah di kota Medan tahun 2021-2030

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Model logistik merupakan model pertumbuhan populasi yang diperkenalkan oleh Verhulst pada tahun 1838. Model ini mengasumsikan tidak ada jeda waktu dalam proses pertumbuhan populasi. Model pertumbuhan logistik untuk memprediksi jumlah sampah di kota Medan adalah

$$P_{(t)} = \frac{K}{e^{-kt} \left(\frac{K}{P_0} - 1 \right) + 1}, \text{ dan penyelesaian model yang akurat untuk dijadikan model akhir untuk mem-}$$

prediksi jumlah sampah dimasa mendatang diperoleh model logistik II, dan memperoleh kapasitas daya tampung sebesar 491.490 ton. Bentuk persamaan dari model logistik II,

$$P_{(t)} = \frac{491.490}{e^{-(1,938595)t} (0,4961643835) + 1}. \text{ Berdasarkan model logistik II, dapat di peroleh prediksi}$$

sampah masuk di kota Medan tahun 2024 berjumlah 490.764 ton, dan tahun 2030 berjumlah 491.489 ton.

4.2 Saran

Adapun saran pada penelitian ini adalah, sebaiknya data historical yang digunakan disarankan lebih banyak daripada penelitian saat ini. Karena semakin banyak data historical yang digunakan, maka semakin besar nilai akurasi yang didapatkan. Selain itu, dengan adanya penelitian ini bisa bermanfaat untuk banyak kalangan yang ingin mencari referensi terkait dengan pembahasan yang sama. Kemudian, pembaca juga dapat menggunakan metode lain untuk bisa membandingkan model lain untuk mendapatkan hasil yang akurat.

5. UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih Kepada dosen pengampu mata kuliah pemodelan yang telah membantu dalam penyusunan penelitian ini, serta tidak lupa juga terimakasih kepada seluruh tim peneliti yang sudah sama-sama bekerja keras dalam pengerjaan penelitian ini. Selanjutnya terimakasih kepada seluruh teman-teman program studi matematika Universitas Islam Negeri Sumatera Utara.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Gunawansyah, Laluma, R. H., & Prasetya, A. (2022). Prediksi Volume Dan Ritasi Pengelolaan Sampah Di Kota Bandung Dengan Metode Regresi Linear. *Jurnal Techno-Socio Ekonomika*, 15(1), 49–60.
- [2] Zuhri, S., Ilyas, & Nisa, R. (2022). Peramalan Volume Sampah Menggunakan Pendekatan Arima Time Series. *Journal of Industrial Science and Technology*, 4(1), 14–19.
- [3] Kanda, A. S., & Puspita Sari, C. (2024). Analisis Permasalahan Dan Kebijakan Penanggulangan Sampah di Daerah Pajajaran Kota Bandung. *Jurnal Penelitian Bisnis Dan Manajemen*, 2(1), 61–69.
- [4] Raming, I., Wirawan, A. S., Syaripuddin, Putri, A. A., Aslina, Sahputra, 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. <https://doi.org/10.35580/jmathcos.v7i1.1945>

- [5] Purnami, W. (2021). Pengelolaan Sampah di Lingkungan Sekolah untuk Meningkatkan Kesadaran Ekologi Siswa. *INKUIRI: Jurnal Pendidikan IPA*, 9(2), 119. <https://doi.org/10.20961/inkuiri.v9i2.50083>