

**PEMODELAN PERTUMBUHAN TIMBULAN SAMPAH PLASTIK DI INDONESIA  
MENGUNAKAN PERSAMAAN DIFERENSIAL BIASA****Zaskia Khanaya**

Matematika, Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Medan, Medan Indonesia  
[zaskia.4243230018@mhs.unimed.ac.id](mailto:zaskia.4243230018@mhs.unimed.ac.id)\*

**Christine Refael Margareta Lubis**

Matematika, Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Medan, Medan Indonesia  
[cristinelbs.4243230026@mhs.unimed.ac.id](mailto:cristinelbs.4243230026@mhs.unimed.ac.id)

**Aldha Aulia Imtiyaz Hasibuan**

Matematika, Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Medan, Medan Indonesia  
[aldhahsb.4241230004@mhs.unimed.ac.id](mailto:aldhahsb.4241230004@mhs.unimed.ac.id)

**Cantika Purba**

Matematika, Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Medan, Medan Indonesia  
[cantikapurba2404@gmail.com](mailto:cantikapurba2404@gmail.com)

**Indah Putri Sitompul**

Matematika, Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Medan, Medan Indonesia  
[indahputrisitompul@gmail.com](mailto:indahputrisitompul@gmail.com)

**Hamidah Nasution**

Matematika, Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Medan, Medan Indonesia

**Abstrak**

Sampah plastik merupakan masalah lingkungan yang krusial di Indonesia akibat peningkatan konsumsi dan karakteristiknya yang sulit terurai. Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan pertumbuhan timbulan sampah plastik di Indonesia menggunakan Persamaan Diferensial Biasa (PDB) bentuk eksponensial. Data timbulan sampah tahun 2020–2024 diperoleh dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK). Hasil analisis menunjukkan laju pertumbuhan sebesar 6,17% per tahun. Berdasarkan model yang dibangun, diprediksi timbulan sampah plastik akan terus meningkat dari 37,55 juta ton pada tahun 2025 menjadi 51,15 juta ton pada tahun 2030. Model ini dapat menjadi dasar dalam perencanaan strategi pengelolaan sampah plastik yang lebih efektif dan berkelanjutan.

**Kata kunci:** Sampah plastik, persamaan diferensial biasa, pemodelan eksponensial, prediksi, Indonesia.

**Abstract**

Plastic waste is a critical environmental issue in Indonesia due to increasing consumption and its non biodegradable nature. This study aims to model the growth of plastic waste generation in Indonesia using an exponential form of the Ordinary Differential Equation (ODE). Data on waste generation from 2020–2024 were obtained from the Ministry of Environment and Forestry (KLHK). The analysis results show a growth rate of 6.17% per year. Based on the developed model, it is predicted that plastic waste generation will continue to increase from 37.55 million tons in 2025 to 51.15 million tons in 2030. This model can serve as a foundation for planning more effective and sustainable plastic waste management strategies.

**Keywords:** Plastic waste, ordinary differential equation, exponential modeling, prediction, Indonesia.

## PENDAHULUAN

Sampah plastik menjadi salah satu permasalahan lingkungan yang semakin mendesak di Indonesia, seiring meningkatnya jumlah penduduk dan pola konsumsi masyarakat. Karakteristik plastik yang sulit terurai menyebabkan akumulasinya terus bertambah dari tahun ke tahun dan menimbulkan dampak negatif bagi ekosistem darat maupun laut. Untuk memahami dinamika pertumbuhan timbulan sampah plastik, pendekatan matematis seperti persamaan diferensial biasa (PDB) dapat digunakan untuk memodelkan perubahan jumlah sampah terhadap waktu. Pemodelan ini bermanfaat dalam memprediksi tren pertumbuhan di masa depan sekaligus memberikan dasar pertimbangan dalam merumuskan strategi pengelolaan sampah plastik yang lebih efektif dan berkelanjutan (Model., 2019).

Meningkatnya konsumsi plastik di dunia, termasuk di Indonesia, berkontribusi besar terhadap pencemaran lingkungan karena sifat plastik yang sulit terurai. Salah satu jenis plastik yang banyak digunakan adalah Polyethylene Terephthalate (PET), yang umum dijadikan bahan kemasan dan botol sekali pakai. Meskipun tingkat daur ulang plastik mengalami peningkatan, sebagian besar limbah plastik masih berakhir di tempat pembuangan sampah atau mencemari lingkungan. Kondisi ini menunjukkan pentingnya upaya untuk memahami pola pertumbuhan timbulan sampah plastik melalui pemodelan matematis, agar dapat dilakukan analisis prediksi jangka panjang serta mendukung strategi pengelolaan sampah yang lebih berkelanjutan (Tali., 2016). Seperti halnya pada peristiwa alam yang kompleks, pertumbuhan timbulan sampah plastik juga memerlukan model matematika agar dinamika perubahannya dapat dipahami dengan lebih jelas. Persamaan diferensial biasa memberikan kerangka analitis yang mampu merepresentasikan hubungan antara laju pertumbuhan sampah plastik dengan waktu, sehingga dapat menggambarkan pola akumulasi dari tahun ke tahun. Dengan memanfaatkan pendekatan ini, simulasi maupun prediksi terhadap jumlah timbulan sampah plastik di Indonesia dapat dilakukan secara lebih sistematis, sekaligus membantu dalam menilai efektivitas skenario

pengelolaan atau kebijakan pengurangan sampah yang diterapkan di masa mendatang (Asri raming dkk., 2022).

Model matematika berperan penting dalam merepresentasikan suatu fenomena nyata ke dalam bentuk persamaan yang dapat dianalisis, sehingga perilaku permasalahan tersebut dapat dipahami secara lebih sistematis. Dengan menggunakan persamaan diferensial biasa, dinamika pertumbuhan timbulan sampah plastik dapat dijelaskan melalui variabel dan parameter yang relevan, seperti laju pertumbuhan, kapasitas lingkungan, maupun faktor pengendalian. Analisis terhadap model ini diharapkan mampu memberikan gambaran yang representatif mengenai perkembangan sampah plastik di Indonesia, serta menjadi dasar dalam menyusun strategi mitigasi dan kebijakan pengelolaan lingkungan yang lebih efektif (Side dkk., 2018).

## KAJIAN TEORI

Persamaan diferensial biasa (PDB) telah banyak digunakan dalam berbagai disiplin ilmu, mulai dari fisika, teknik, kedokteran hingga ilmu lingkungan, untuk menjelaskan fenomena yang bersifat dinamis. Model berbasis PDB mampu menggambarkan perubahan suatu variabel terhadap waktu, misalnya dalam kajian epidemiologi untuk menganalisis penyebaran penyakit dengan model SIR maupun model logistik. Selain itu, pendekatan logistik, Gompertz, maupun Bertalanffy juga sering digunakan dalam memprediksi pertumbuhan populasi atau penyebaran suatu wabah. Keberhasilan penerapan model-model tersebut menunjukkan bahwa persamaan diferensial memiliki peran penting dalam memberikan gambaran matematis terhadap masalah nyata. Oleh karena itu, pendekatan serupa dapat diadaptasi untuk memodelkan pertumbuhan timbulan sampah plastik di Indonesia, sehingga pola akumulasi dan laju pertumbuhannya dapat dianalisis secara lebih kuantitatif (Putra dkk., 2020).

Plastik merupakan material polimer sintesis yang banyak digunakan dalam berbagai aspek kehidupan karena sifatnya yang ringan, kuat, dan tahan lama. Namun, keunggulan tersebut juga menjadi masalah serius karena plastik sangat sulit

terurai secara alami sehingga menimbulkan akumulasi sampah dalam jangka panjang. Timbulan sampah plastik di Indonesia terus meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk, perubahan gaya hidup, serta tingginya konsumsi produk sekali pakai. Kondisi ini menimbulkan tantangan besar bagi pengelolaan lingkungan, sebab sebagian besar sampah plastik masih berakhir di tempat pembuangan akhir dan berpotensi mencemari ekosistem darat maupun laut. Oleh karena itu, diperlukan suatu pendekatan ilmiah, salah satunya melalui pemodelan matematika berbasis persamaan diferensial, untuk memahami dinamika pertumbuhan timbulan sampah plastik serta memprediksi tren di masa mendatang (Efendi & Sagita.,2021)

**METODE**

Metode penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan pemodelan matematika melalui persamaan diferensial biasa (PDB) untuk menganalisis dan memprediksi pertumbuhan timbulan sampah tahunan di Indonesia. Data penelitian berupa timbulan sampah tahunan periode 2020–2024 (dalam ton) yang diperoleh dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) melalui sistem informasi pengelolaan sampah nasional. Model yang digunakan adalah persamaan diferensial linear eksponensial

$$\frac{ds}{dt} = kS(t)$$

dengan solusi umum

$$S(t) = S_0 e^{k(t-t_0)}$$

Keterangan:

$S(t)$  = jumlah timbulan sampah pada tahun ke- $t$   
 $S_0$  = jumlah awal (tahun dasar)  
 $k$  = laju pertumbuhan

Analisis dilakukan dengan menyusun data ke dalam tabel, menghitung rasio pertumbuhan tahunan, menentukan nilai konstanta  $k$  dengan rumus  $k = \frac{1}{t-t_0} \ln\left(\frac{S(t)}{S_0}\right)$ , kemudian membangun model pertumbuhan sampah serta melakukan prediksi jumlah timbulan sampah pada tahun-tahun berikutnya. Hasil perhitungan divisualisasikan dalam bentuk grafik, dan model divalidasi dengan membandingkan data aktual dan prediksi; jika perbedaan signifikan muncul, maka dapat dipertimbangkan penggunaan model lain seperti persamaan diferensial logistic.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Berdasarkan data timbulan sampah plastik di Indonesia yang diperoleh dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) selama periode 2020–2024, diperoleh nilai timbulan sampah sebagai berikut:

2020	27.592.603,06
2021	28.591.323,10
2022	38.570.232,62
2023	43.260.356,89
2024	35.313.107,58

Data tersebut menunjukkan adanya fluktuasi timbulan sampah plastik, dengan peningkatan signifikan pada tahun 2022 dan 2023, serta penurunan pada tahun 2024. Untuk memodelkan pertumbuhan timbulan sampah plastik dalam jangka panjang, digunakan persamaan diferensial biasa (PDB) bentuk eksponensial:

$$\frac{ds}{dt} = k.S(t)$$

Persamaan ini diselesaikan secara analitik untuk memperoleh solusi umum:

$$\frac{ds}{s} = k.S(t)$$

$$\frac{1}{s} ds = k. dt$$

$$\int \frac{1}{s} ds = \int k dt$$

$$\ln|s| = kt + C$$

$$S(t) = e^{kt+C} = e^C - e^{kt}$$

$$S(t) = S_0 . e^{kt}$$

$$S(t) = S_0 . e^{k(t-t_0)}$$

$$S(t) = S_0 e^{k(t-t_0)}$$

Dengan :

$$K = \frac{1}{t-t_0}$$

Tahun dasar (2020)  
 $S_0 = 27.592.603 ton$   
 $S(2024) = 35.313.108 ton$   
 Selisih tahun  
 $t = 2024$   
 $t - t_0 = 2024 - 2020$   
 $= 4$

Dengan  $S_0$  adalah jumlah timbulan sampah pada tahun dasar (2020), yaitu 27.592.603,06 ton, dan  $k$  adalah laju pertumbuhan eksponensial. Nilai  $k$  dihitung menggunakan data tahun 2024 sebagai acuan, dengan selisih waktu  $t - t_0 = 4$  tahun. Perhitungan nilai  $k$  adalah sebagai berikut:

$$K = \frac{1}{4} \ln\left(\frac{35.313.108}{27.592.603}\right)$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{1}{4} \ln(1,28) \\
&= \frac{1}{4} \cdot 0,248 \approx 0,0617 \\
&= 6,17\%
\end{aligned}$$

Dengan demikian, laju pertumbuhan timbulan sampah plastik adalah sebesar 6,17% per tahun. Berdasarkan model ini, dilakukan prediksi timbulan sampah plastik untuk periode 2025–2030:

$$\begin{aligned}
S(2025) &= S_0 e^{k(t-t_0)} \\
&= 27.592.603,06 \times e^{0,0617(2025-2020)} \\
&= 27.592.603,06 \times e^{0,3085} \\
&= 27.592.603,06 \times (1,361) \\
&= 37.553.333 \text{ ton}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
S(2026) &= S_0 e^{k(t-t_0)} \\
&= 27.592.603,06 \times e^{0,0617(2026-2020)} \\
&= 27.592.603,06 \times e^{0,3702} \\
&= 27.592.603,06 \times (1,448) \\
&= 39.946.790,43 \text{ ton}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
S(2027) &= S_0 e^{k(t-t_0)} \\
&= 27.592.603,06 \times e^{0,0617(2027-2020)} \\
&= 27.592.603,06 \times e^{0,4936} \\
&= 27.592.603,06 \times 1,63825 \\
&= 42.497.605,44
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
S(2028) &= S_0 e^{k(t-t_0)} \\
&= 27.592.603,06 \times e^{0,0617(2028-2020)} \\
&= 27.592.603,06 \times e^{0,4936} \\
&= 27.592.603,06 \times 1,63825 \\
&= 45.202289,21
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
S(2029) &= S_0 e^{k(t-t_0)} \\
&= 27.592.603,06 \times e^{0,0617(2029-2020)} \\
&= 27.592.603,06 \times e^{0,553} \\
&= 27.592.603,06 \times 1,74165 \\
&= 48.079.107,72
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
S(2030) &= S_0 e^{k(t-t_0)} \\
&= 27.592.603,06 \times e^{0,0617(2030-2020)} \\
&= 27.592.603,06 \times e^{0,617} \\
&= 27.592.603,06 \times 1,8537 \\
&= 51.147.769,2
\end{aligned}$$

Hasil prediksi menunjukkan bahwa tanpa intervensi yang signifikan, timbulan sampah plastik di Indonesia akan terus meningkat secara eksponensial. Model eksponensial ini mengasumsikan bahwa tidak ada faktor pembatas yang menghambat pertumbuhan, sehingga cocok untuk menggambarkan skenario *business as usual*. Namun,

mengingat adanya fluktuasi dalam data historis, model ini perlu divalidasi lebih lanjut. Jika terdapat deviasi yang signifikan antara data aktual dan hasil prediksi, maka penggunaan model lain seperti persamaan diferensial logistik dapat dipertimbangkan untuk memperhitungkan daya dukung lingkungan dan kebijakan pengelolaan sampah.

## PENUTUP

### SIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa persamaan diferensial biasa (PDB) model eksponensial berhasil diterapkan untuk memodelkan pertumbuhan timbulan sampah plastik di Indonesia. Dengan laju pertumbuhan sebesar 6,17% per tahun dan menggunakan data tahun 2020 sebagai tahun dasar, model ini memprediksi peningkatan timbulan sampah plastik yang signifikan, dari 37,55 juta ton pada tahun 2025 menjadi 51,15 juta ton pada tahun 2030. Hasil pemodelan ini memberikan gambaran yang jelas mengenai tren pertumbuhan sampah plastik di masa mendatang dalam skenario *business-as-usual*, sekaligus menegaskan urgensi untuk mengambil langkah-langkah strategis guna mencegah akumulasi sampah yang lebih parah.

### SARAN

Berdasarkan temuan penelitian, disarankan agar model yang dikembangkan dapat divalidasi dan disempurnakan lebih lanjut dengan memasukkan lebih banyak data historis serta mempertimbangkan model lain seperti persamaan logistik yang mampu merepresentasikan faktor pembatas pertumbuhan. Di sisi kebijakan, pemerintah perlu memperkuat regulasi dan implementasi program pengurangan sampah plastik di sumbernya, mendorong ekonomi sirkular melalui insentif bagi industri daur ulang, serta meningkatkan kesadaran masyarakat akan konsumsi berkelanjutan. Untuk penelitian selanjutnya, penting untuk mengintegrasikan variabel-variabel non-teknis, seperti perilaku masyarakat dan efektivitas kebijakan, ke dalam model matematika guna menghasilkan analisis dan prediksi yang lebih komprehensif dan responsif terhadap dinamika yang ada.

### DAFTAR PUSTAKA

Asri Raming, I., Putra, A. R. R., Wulandari, W.,

- Kaindi, Y. P., Saderisa, S., & Tulzahrah, S. (2022). Penerapan Metode Beda Hingga pada Model Matematika Aliran Banjir dari Persamaan Saint Venant. *Basis: Jurnal Ilmiah Matematika*, 1(1), 128-138.
- Efendi, R., & Sagita, D. (2021). Penerapan Sistem Persamaan Diferensial Linier pada Simulasi Debit Air pada Pipa. *JMPM (Jurnal Material dan Proses Manufaktur)*, 5(1), 10-17.
- Model, A. H. T. (2019). Penentuan Temperatur Optimal Pembakaran Boiler untuk Karbonisasi Hidrotermal Sampah Organik Melalui Model Semi-Analitik Perpindahan Panas Determination of Optimal Boiler Combustion Temperature for Hydrothermal Carbonization of Organic Waste Through A Semi. *Jurnal Teknologi Lingkungan Vol*, 20(2), 291-298.
- Putra, V. G. V., Wijayono, A., Mohamad, J. N., Irwan, I., & Rosyidan, C. (2020). Penerapan Fisika Komputasi dengan MATLAB/Simulink pada Pemodelan Infeksi Wabah COVID-19 di Indonesia melalui Modifikasi Persamaan Diferensial Bernoulli. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, 233-244.
- Prasetya, A., Yudianto, D., & Guan, Y. (2017). Pemodelan Numerik 1-D Adveksi-Dispersi Untuk Memprediksi Konstrentasi Polutan Dalam Badan Sungai. *Jurnal Teknik Sipil*, 14(3), 188-194.
- Side, S., Tampa, A., & Ban, A. (2018). Modifikasi Model SIR pada Penyebaran Penyakit Demam Berdarah Dengue di Kabupaten Bone. *Journal of Mathematics, Computations, and Statistics* (hal. 169-182) Vol. 1. No. 2, Oktober 2018.
- Talib, T. (2016). Model Regulasi Pada Proses Biodegradasi Polyethylene Terephthalate (PET). *BAREKENG: Jurnal Ilmu Matematika dan Terapan*, 10(2), 107-105.