



Model Sistem Dinamik dalam Simulasi dan Evaluasi Penanganan Sampah di Kota Medan

Ade Andreas Sinabariba^{1*}, Enriko Vincentius Manurung¹, Putri Harliana¹
¹Ilmu Komputer Universitas Negeri Medan, Medan

Riwayat Artikel:

Diajukan: 19/05/2025
Diterima: 10/06/2025
Daring: 18/06/2025
Terbit: 30/06/2025

Kata Kunci:

Sistem dinamik
Pengelolaan sampah
Simulasi
Evaluasi
Kota Medan

Keywords:

Dynamic system
Waste management
Simulation
Evaluation
Medan city

Abstrak

Pengelolaan sampah menjadi tantangan besar bagi Kota Medan yang terus berkembang pesat. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model sistem dinamik dalam simulasi dan evaluasi pengelolaan sampah di Kota Medan. Model ini digunakan untuk menganalisis dampak dari berbagai kebijakan pengelolaan sampah terhadap jumlah timbulan sampah yang terkelola, kebutuhan fasilitas pengolahan sampah, dan biaya yang dibutuhkan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa model ini dapat memprediksi pertumbuhan populasi dengan akurasi tinggi (MAPE 1,48%) dan timbulan sampah dengan akurasi yang baik (MAPE 3,30%). Simulasi juga memperlihatkan kebutuhan armada truk yang meningkat seiring dengan peningkatan jumlah penduduk dan timbulan sampah. Kontribusi penelitian ini adalah pengembangan model sistem dinamik yang dapat digunakan untuk merencanakan kebijakan pengelolaan sampah yang lebih efisien dan berkelanjutan di masa depan. Namun, penelitian ini juga memiliki kekurangan, seperti adanya deviasi signifikan pada prediksi timbulan sampah pada tahun 2024, yang dipengaruhi oleh faktor eksternal yang sulit diprediksi, seperti perubahan perilaku masyarakat dan kebijakan yang diterapkan. Alternatif solusi yang dapat diusulkan untuk penelitian selanjutnya adalah pengembangan model yang lebih kompleks, yang mempertimbangkan variabel-variabel eksternal seperti kebijakan pengelolaan sampah yang baru, kesadaran masyarakat, dan faktor lingkungan lainnya. Secara keseluruhan, penelitian ini membuktikan bahwa model sistem dinamik dapat menjadi alat yang efektif dalam merencanakan kebijakan pengelolaan sampah di Kota Medan yang lebih efisien, dengan hasil yang berguna untuk perencanaan kebijakan pengelolaan sampah yang berkelanjutan.

Abstract

Waste management is a significant challenge for the rapidly growing city of Medan. This study aims to develop a dynamic system model for simulating and evaluating waste management in Medan. The model is used to analyze the impact of various waste management policies on the amount of waste processed, the required waste management facilities, and the associated costs. The simulation results show that the model can predict population growth with high accuracy (MAPE 1.48%) and waste generation with good accuracy (MAPE 3.30%). Additionally, the simulation reveals an increasing need for waste trucks in line with population growth and waste generation. The contribution of this study is the development of a dynamic system model that can be used to plan more efficient and sustainable waste management policies in the future. However, this study also has some limitations, such as significant deviations in the waste generation predictions for 2024, influenced by external factors that are difficult to predict, such as changes in public behavior and new policies. Alternative solutions for future research include the development of a more complex model that accounts for external variables such as new waste management policies, public awareness, and other environmental factors. Overall, this study demonstrates that the dynamic system model can be an effective tool for planning more efficient waste management policies in Medan, with useful results for sustainable waste management policy planning.

*Korespondensi: adeandreass03@mhs.unimed.ac.id



Pendahuluan

Pengelolaan sampah menjadi tantangan besar bagi banyak kota besar di Indonesia, termasuk Kota Medan, yang merupakan salah satu kota metropolitan terbesar di Pulau Sumatera. Seiring dengan pesatnya urbanisasi dan pertumbuhan jumlah penduduk, Kota Medan mengalami peningkatan signifikan dalam konsumsi dan timbulan sampah. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS), jumlah penduduk Kota Medan pada tahun 2024 mencapai 2,4 juta jiwa, dengan laju pertumbuhan penduduk sekitar 0,55% per tahun [1]. Hal ini berbanding lurus dengan peningkatan timbulan sampah yang harus dikelola oleh pemerintah dan masyarakat. Peningkatan jumlah sampah ini juga berpotensi menimbulkan berbagai masalah lingkungan, kesehatan masyarakat, dan biaya yang semakin tinggi jika tidak dikelola dengan baik [2].

Peningkatan jumlah sampah, yang seiring dengan pertumbuhan konsumsi, menjadi isu utama dalam pengelolaan sampah di Kota Medan. Salah satu langkah yang diambil oleh pemerintah kota adalah menetapkan target pengurangan sampah sebesar 30% dan penanganan sampah sebesar 70% pada tahun 2025 [3]. Meskipun kebijakan ini sudah ditetapkan, tantangan besar tetap ada, terutama terkait dengan keterbatasan kapasitas fasilitas pengolahan sampah yang ada, serta masih rendahnya kesadaran masyarakat akan pentingnya pemilahan sampah.

Pemahaman masyarakat mengenai dinamika hubungan antara pertumbuhan penduduk, konsumsi, timbulan sampah, dan kebutuhan fasilitas pengolahan sampah masih sangat kurang. Pengelolaan sampah yang efisien tidak hanya bergantung pada jumlah fasilitas pengolahan yang tersedia, tetapi juga pada pemahaman yang mendalam tentang bagaimana kebijakan pengelolaan sampah dapat mempengaruhi masing-masing faktor tersebut dalam jangka panjang. Tanpa alat yang memadai untuk menganalisis interaksi antara variabel-variabel tersebut, perencanaan kebijakan dapat kurang efektif dan tidak dapat mengantisipasi tantangan yang muncul akibat perubahan demografis dan konsumsi masyarakat yang dinamis.

Selain itu, keterbatasan data dan model yang ada saat ini tidak dapat secara komprehensif memprediksi dampak jangka panjang dari kebijakan pengelolaan sampah yang ada. Oleh karena itu, penting untuk mengembangkan model yang dapat mensimulasikan berbagai kebijakan dan memproyeksikan dampaknya terhadap pengelolaan sampah. Salah satu solusi untuk mengatasi permasalahan ini adalah dengan menggunakan model sistem dinamik, yang mampu memodelkan hubungan kompleks antara berbagai faktor yang mempengaruhi pengelolaan sampah dan membantu merencanakan kebijakan yang lebih efisien.

Model sistem dinamik merupakan suatu metode pemodelan untuk memahami dan memodelkan sistem yang kompleks dan dinamis, seperti pengelolaan sampah [4]. Dengan menggunakan model ini, berbagai variabel yang saling terkait, seperti jumlah penduduk, konsumsi, kapasitas fasilitas pengolahan sampah, biaya operasional, serta kebijakan pengelolaan sampah dapat dianalisis secara komprehensif. Sistem dinamik memungkinkan simulasi skenario kebijakan yang berbeda untuk mengidentifikasi dampak jangka panjang dari berbagai kebijakan pengelolaan sampah yang dapat diterapkan di Kota Medan, serta memberikan gambaran lebih mendalam tentang interaksi antara variabel-variabel ini dalam mencapai target pengelolaan sampah yang berkelanjutan [5].

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan menerapkan model sistem dinamik dalam simulasi dan evaluasi penanganan sampah di Kota Medan. Model ini akan digunakan untuk menganalisis dampak dari berbagai kebijakan pengelolaan sampah terhadap jumlah timbulan sampah yang terkelola, kebutuhan fasilitas pengolahan sampah, serta biaya yang dibutuhkan untuk mencapai target kebijakan pengelolaan sampah yang efisien dan berkelanjutan di Kota Medan.

Metodologi Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan sistem dinamik untuk menganalisis dan mengevaluasi pengelolaan sampah di Kota Medan. Sistem dinamik dipilih karena mampu memodelkan hubungan dinamis antara berbagai faktor yang mempengaruhi pengelolaan sampah, serta memungkinkan simulasi berbagai skenario kebijakan untuk memahami dampaknya terhadap sistem pengelolaan sampah dalam jangka panjang.

Tabel 1. Data Penelitian

Variabel	Formulasi
Populasi Penduduk	2.435.252 Jiwa [1]
Laju Pertumbuhan Penduduk	1,45% [1]
Pertumbuhan Penduduk	Populasi Penduduk * Laju Pertumbuhan Penduduk [6]
Timbulan Sampah	622206,89 Ton [7]
Laju Pertumbuhan Timbulan	2,38% [7]
Pertumbuhan Timbulan Sampah	Timbulan Sampah * Laju Pertumbuhan Timbulan

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data primer dan sekunder, yang diperoleh dari sumber yang relevan, seperti Badan Pusat Statistik (BPS) Kota Medan dan Penelitian-penelitian terdahulu. Data yang diperoleh ditunjukkan pada **Tabel 1**.

Model sistem dinamik dikembangkan dengan menggunakan perangkat lunak simulasi Stella. Model ini diatur untuk mensimulasikan dinamika pertumbuhan penduduk, timbulan sampah, dan

kebutuhan armada truk dalam waktu lima tahun ke depan (2020-2024). Berikut beberapa variabel yang ada pada aplikasi Stella ditunjukkan pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Variabel pada Aplikasi Stella

Simbol	Nama Variabel	Keterangan
 <p>Stock</p>	Level	Variabel atau objek yang dikaji.
 <p>Flow</p>	Flow	Aliran yang masuk atau keluar yang berpengaruh pada variabel level.
 <p>Converter</p>	Auxiliary	Variabel yang dapat berdiri sendiri atau bergabung dengan aliran.
	Link	Penghubung antar variabel.

Untuk memastikan bahwa model sistem dinamik yang dikembangkan dapat memberikan hasil yang akurat dan relevan dengan kondisi nyata di Kota Medan, dilakukan proses validasi yang membandingkan hasil simulasi model dengan data aktual yang ada. Validasi ini bertujuan untuk mengukur sejauh mana model yang dibangun mampu menggambarkan dinamika pengelolaan sampah yang terjadi di lapangan.

Proses validasi dimulai dengan membandingkan data hasil simulasi dengan data aktual yang diperoleh dari berbagai sumber yang sah, seperti Badan Pusat Statistik (BPS) Kota Medan dan penelitian-penelitian terdahulu. Dalam hal ini, dua variabel utama yang diuji validitasnya adalah populasi penduduk dan timbulan sampah, karena keduanya mempengaruhi secara langsung kapasitas pengelolaan sampah di Kota Medan.

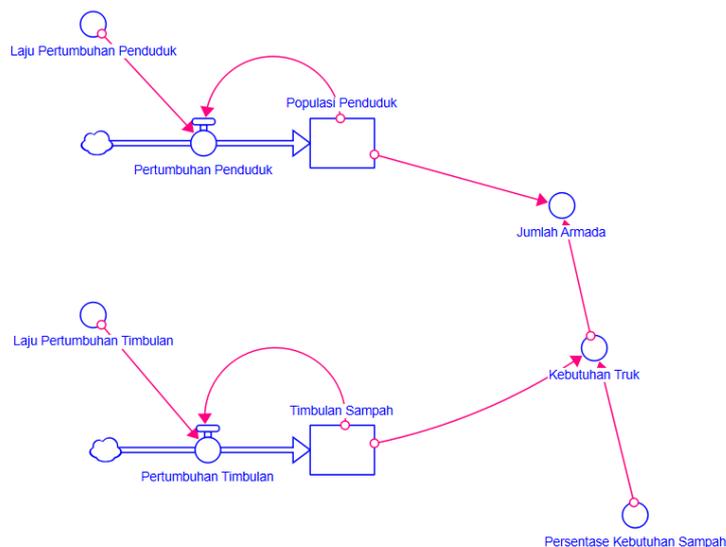
Proses validasi yang dapat dilakukan yaitu menghitung *mean comparison* (E1). *Mean Comparison* (E1) adalah metode yang digunakan untuk membandingkan nilai rata-rata antara dua set data, yaitu nilai yang diperoleh dari hasil simulasi atau prediksi dengan nilai aktual atau data yang sesungguhnya[8]. E1 mengukur perbedaan rata-rata secara relatif dalam bentuk persentase, dan ini sering digunakan untuk menilai tingkat kesalahan dalam model peramalan atau simulasi.

$$E1 = \frac{|\bar{S} - \bar{A}|}{\bar{A}} \times 100\%$$

dimana \bar{S} adalah nilai hasil simulasi atau prediksi, dan \bar{A} merupakan adalah nilai aktual yang diperoleh dari data yang sesungguhnya. E1 bernilai valid jika hasilnya $< 5\%$ [9]. Fungsi utama dari *Mean Comparison* (E1) adalah untuk mengukur seberapa akurat model atau sistem prediksi dalam merepresentasikan kondisi yang sebenarnya. Semakin kecil nilai E1, semakin baik model tersebut dalam menggambarkan realitas, karena perbedaannya lebih kecil.

Hasil dan Pembahasan

Model Stock and Flow Diagram dibuat menggunakan perangkat lunak simulasi Stella. *Model Stock and Flow Diagram* (SFD) ini memodelkan hubungan dinamis antara populasi penduduk, timbulan sampah, dan kebutuhan armada truk dalam pengelolaan sampah di Kota Medan. Sistem ini sangat berguna dalam merencanakan kebijakan pengelolaan sampah yang efektif dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti pertumbuhan penduduk, peningkatan konsumsi, dan kapasitas pengelolaan sampah yang tersedia. **Gambar 1** berikut menunjukkan *Model Stock and Flow Diagram* yang dibuat dengan aplikasi stella, *Model Stock and Flow Diagram* ini menggambarkan hubungan dinamis tersebut.



Gambar 1. Model Stock and Flow Diagram

Hasil perbandingan antara data aktual dan simulasi untuk populasi penduduk Kota Medan menunjukkan tingkat kesalahan yang sangat kecil. **Tabel 3** berikut menunjukkan data yang diperoleh dari simulasi dan data aktual yang telah dibandingkan untuk periode 2020 hingga 2024.

Tabel 3. Validasi Perbandingan Rata-rata pada Populasi Penduduk
Validasi Perbandingan Rata-Rata pada Populasi Penduduk

Tahun	Aktual (Jiwa)	Simulasi (Jiwa)	Error(%)
2020	2.435.252	2.435.252	0
2021	2.460.858	2.470.563	0,39
2022	2.494.512	2.506.386	0,47
2023	2.474.166	2.542.728	2,77
2024	2.486.283	2.579.598	3,75
MAPE			1,47

Hasil simulasi menunjukkan bahwa error antara data aktual dan simulasi sangat kecil, dengan nilai *MAPE* sebesar 1,48%. Hal ini menunjukkan bahwa model sistem dinamik mampu memprediksi pertumbuhan populasi di Kota Medan dengan cukup akurat, meskipun terdapat sedikit deviasi pada tahun 2023 dan 2024.

Perbandingan antara timbulan sampah aktual dan simulasi menunjukkan hasil yang sedikit lebih besar dalam hal error, meskipun model tetap menunjukkan akurasi yang baik dalam memprediksi volume sampah yang dihasilkan. **Tabel 4** berikut menunjukkan hasil perbandingan rata-rata timbulan sampah untuk periode 2020 hingga 2024.

Tabel 4. Validasi Perbandingan Rata-rata Sampah
Validasi Perbandingan Rata-Rata Timbulan Sampah

Tahun	Aktual (Ton)	Simulasi (Ton)	Error(%)
2020	622.207	622206,89	0
2021	645.013	637015,414	1,23
2022	628.749	652176,3808	3,72
2023	645.661	667698,1787	3,41
2024	632.149	683589,3954	8,13
MAPE			3,30

Tabel 5. Simulasi Armada Truk

Tahun	Kebutuhan Truk
2020	809
2021	828
2022	848
2023	868
2024	889

Meskipun hasil simulasi timbulan sampah menunjukkan error yang lebih tinggi dibandingkan dengan populasi penduduk, nilai *MAPE* sebesar 3,30% masih menunjukkan tingkat akurasi yang baik. Namun, terdapat perbedaan yang signifikan pada tahun 2024, dengan error mencapai 8,14%. Perbedaan ini

dapat dipengaruhi oleh faktor-faktor yang tidak sepenuhnya dapat diprediksi oleh model, seperti perubahan perilaku masyarakat atau kebijakan pengelolaan sampah yang baru.

Simulasi juga memperkirakan kebutuhan armada truk sampah yang diperlukan untuk mengelola volume sampah yang semakin meningkat. Berikut disajikan dalam **Tabel 5** hasil simulasi jumlah armada truk yang diperlukan di Kota Medan untuk periode 2020 hingga 2024.

Seiring dengan peningkatan jumlah penduduk dan volume timbulan sampah, kebutuhan armada truk juga menunjukkan tren peningkatan yang signifikan. Jumlah armada truk yang dibutuhkan pada tahun 2024 diperkirakan mencapai 889 unit, yang menunjukkan perlunya penambahan armada untuk memenuhi kebutuhan pengelolaan sampah yang semakin besar.

Kesimpulan

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan menerapkan model sistem dinamik dalam simulasi dan evaluasi pengelolaan sampah di Kota Medan, dengan fokus utama pada prediksi pertumbuhan populasi, timbulan sampah, dan kebutuhan armada truk sampah. Hasil simulasi menunjukkan bahwa model sistem dinamik yang dikembangkan memiliki akurasi yang sangat baik dalam memprediksi pertumbuhan populasi, dengan nilai *MAPE* sebesar 1,48%. Meskipun prediksi timbulan sampah sedikit lebih tinggi dengan nilai *MAPE* sebesar 3,30%, model ini tetap menunjukkan akurasi yang baik, meskipun terdapat deviasi pada tahun 2024 yang disebabkan oleh faktor eksternal yang sulit diprediksi. Simulasi juga memperlihatkan bahwa kebutuhan armada truk sampah meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk dan volume timbulan sampah, yang menunjukkan adanya peningkatan yang signifikan pada kebutuhan armada truk, dengan proyeksi mencapai 889 unit pada tahun 2024. Hal ini memberikan gambaran bahwa perencanaan dan penambahan armada truk perlu diperhatikan untuk mengatasi volume sampah yang semakin besar. Secara keseluruhan, penelitian ini membuktikan bahwa model sistem dinamik dapat digunakan sebagai alat yang efektif dalam memodelkan hubungan dinamis yang kompleks dalam pengelolaan sampah di Kota Medan. Dengan simulasi yang lebih baik, model ini dapat dijadikan dasar untuk merencanakan kebijakan pengelolaan sampah yang lebih efisien dan berkelanjutan, serta membantu pengambilan keputusan yang lebih tepat dalam menghadapi tantangan pengelolaan sampah yang semakin kompleks.

Daftar Pustaka

- [1] Badan Pusat Statistik Provinsi Sumatera Utara, "Penduduk, Laju Pertumbuhan Penduduk, Distribusi Persentase Penduduk Kepadatan Penduduk, Rasio Jenis Kelamin Penduduk Menurut Kabupaten/Kota di Provinsi Sumatera Utara, 2024." Diakses: 5 Mei 2025. [Daring]. Tersedia pada: <https://sumut.bps.go.id/id/statistics-table/3/V1ZSbFRUY3ITbFpEYTNsVWNGcDZjek53YkhsNFFUMDkjMw==/jumlah-penduduk--laju-pertumbuhan-penduduk--distribusi-persentase-penduduk--kepadatan-penduduk--rasio-jenis-kelamin-penduduk-menurut-kabupaten-kota-di-provinsi-sumatera-utara--2023.html?year=2024>
- [2] A. Farhan, C. C. Lauren, dan N. A. Fuzain, "Analisis Faktor Pencemaran Air dan Dampak Pola Konsumsi Masyarakat di Indonesia," *J. Huk. dan HAM Wara Sains*, vol. 2, no. 12, hal. 1095–1103, 2023, doi: 10.58812/jhhws.v2i12.803.
- [3] A. Phelia dan R. O. Sinia, "Skenario Pengembangan Fasilitas Sistem Pengolahan Sampah Dengan Pendekatan Cost Benefit Analysis Di Kelurahan Kedamaian Kota Bandar Lampung," *J. Serambi Eng.*, vol. 6, no. 1, hal. 1555–1562, 2021, doi: 10.32672/jse.v6i1.2611.
- [4] M. H. Prasetyo, F. Lihawa, dan D. W. K. Baderan, "Potensi Model Sistem Dinamik dalam Sistem Pengelolaan Sampah Perkotaan," *J. Wilayah, Kota dan Lingkungan. Berkelanjutan*, vol. 3, no. 2, 2024.
- [5] D. Rusvinasari dan A. S. Risnanto, "Rancangan Prediksi Volume Sampah Tpa Kota Semarang Dengan Pendekatan Sistem Dinamik," *J. Data Sci. Theory Appl.*, vol. 3, no. 1, hal. 14–22, 2024.
- [6] H. Fuadi, "Analisis Dampak Peningkatan Laju Pertumbuhan Penduduk (Data SP2020) Terhadap Pengendalian Kuantitas Penduduk di Nusa Tenggara Barat," *Elastisitas - J. Ekon. Pembang.*, vol. 3, no. 2, hal. 148–155, 2021, doi: 10.29303/e-jep.v3i2.45.
- [7] "TIMBULAN SAMPAH," SIPSN. Diakses: 17 Mei 2025. [Daring]. Tersedia pada: <https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/public/data/timbulan>
- [8] J. P. Pasaribu dan K. R. Bakara, "Simulasi Pemodelan Sistem Dinamik Untuk Prediksi Intensitas Hujan Wilayah Deli Serdang," *J. Teknol. Pembelajaran Interaktif*, vol. 4, no. 2, hal. 33–47, 2024.
- [9] S. N. Meirizha, A. Mulyadi, dan N. Z. Indra, "Model System Dynamics untuk Pengelolaan Sampah Padat Perkotaan di Kota Pekanbaru," *J. Media Tek. dan Sist. Ind.*, vol. 9, no. 1, hal. 14–23, 2025, doi: 10.35194/jmtsi.v9i1.4502.

Ucapan penghargaan

"Tidak tersedia"

Pernyataan Penulis

Penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan dalam publikasi artikel ini. Semua penulis menyetujui penerbitan artikel ini. Jangan dihapus bagian ini.

Lampiran

"Tidak tersedia"