



<http://jurnal.universitaspurabangsa.ac.id/index.php/ijasta>

e-ISSN: 2829-4858

ARTICLE INFORMATION

Received January 5th 2024

Accepted March 22th 2024

Published March 31th 2024

RANCANGAN PREDIKSI VOLUME SAMPAH TPA KOTA SEMARANG DENGAN PENDEKATAN SISTEM DINAMIK

Dian Rusvinasari, Aditya Surya Risnanto

Prodi Sains Data, Fakultas Sains & Teknologi,

Universitas Putra Bangsa

email: dityasurya1@gmail.com

ABSTRAK

Beberapa dekade terakhir, pertumbuhan populasi dan urbanisasi yang cepat di Kota Semarang telah memunculkan tantangan signifikan terkait pengelolaan sampah. Tujuan dari penelitian ini adalah memanfaatkan pendekatan sistem dinamik untuk meramalkan jumlah sampah di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) yang terletak di Kota Semarang, menggabungkan temuan dari berbagai lokasi untuk memperoleh perspektif yang lebih komprehensif. Data dari berbagai penelitian menunjukkan peningkatan volume sampah dan tantangan dalam pengelolaan sampah di berbagai lingkungan. Pendekatan sistem dinamis digunakan untuk menganalisis tren pertumbuhan sampah jangka panjang, mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi, dan merancang solusi berkelanjutan. Selain mengkaji faktor-faktor kuantitatif, penelitian ini juga mempertimbangkan konsekuensi sosial, ekonomi, dan lingkungan dari penerapan praktik pengelolaan sampah yang efisien di Kota Semarang. Integrasi temuan-temuan ini memberikan landasan yang kuat untuk memahami dinamika kompleks volume sampah perkotaan dan mengembangkan strategi berkelanjutan untuk pengelolaan sampah di masa depan.

Kata Kunci: Sistem Dinamis, Pengelolaan Sampah, Kota Semarang, Simulasi

ABSTRACT

The purpose of this research is to utilize a dynamic system approach to predict the amount of waste in the final disposal site (TPA) located in Semarang City, by combining findings from various locations to obtain a more comprehensive perspective. Data from various studies indicate an increase in waste volume and challenges in waste management in various environments. The dynamic system approach is used to analyze long-term waste growth trends, identify influencing factors, and design sustainable solutions. In addition to examining quantitative factors, this study also considers the social, economic, and environmental consequences of efficient waste management practices in Semarang City. The integration of these findings provides a strong foundation for understanding the complex dynamics of urban waste volume and developing sustainable waste management strategies for the future.

Keywords: Dynamic System, Waste Management, Semarang City, Simulation

PENDAHULUAN

Sesuai peraturan pengelolaan sampah (SNI 19-2454-2002), sampah tergolong sampah padat yang terdiri dari bahan organik dan anorganik yang dianggap tidak mempunyai nilai dan memerlukan penanganan yang baik dalam rangka perlindungan lingkungan dan pengamanan investasi dalam pembangunan. Biasanya, permasalahan sampah di perkotaan melibatkan peningkatan produksi sampah tanpa adanya peningkatan pendanaan, infrastruktur pengelolaan, dan kesadaran masyarakat mengenai pengelolaan sampah.

Kota Semarang sebagai salah satu pusat perkotaan di Indonesia menghadapi tantangan besar terkait pengelolaan sampah. Timbulnya sampah di kota ini, berdasarkan data terkini Sistem Informasi Pengelolaan Sampah (SIPSN) pada tahun 2022 menunjukkan timbulan sampah di kota ini sangat mencengangkan, yaitu mencapai 431.085,22 ton atau setara dengan 1,19% dari total timbulan sampah tanah air. Keadaan ini menjadikan Kota Semarang sebagai penghasil sampah terbesar di Jawa Tengah. Besarnya jumlah sampah mencerminkan kompleksnya permasalahan pengelolaan sampah dalam proses urbanisasi dan pertumbuhan konsumsi. Diperlukan upaya serius untuk mengembangkan solusi berkelanjutan yang melibatkan partisipasi aktif masyarakat, inovasi sistem pengelolaan sampah, dan kolaborasi antara pemerintah, swasta, dan instansi terkait untuk memerangi dampak negatif peningkatan volume sampah di Kota Semarang.

Pemanfaatan berbagai teknik untuk simulasi dan peramalan dimungkinkan, salah satu pendekatannya adalah metode dinamik sistem. Metode khusus ini melibatkan pemodelan dan simulasi strategi untuk menganalisis dan mengembangkan strategi baru, dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti ketergantungan, interaksi, umpan balik informasi, dan putaran sebab akibat (Richardson, 2013). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menggunakan metodologi sistem dinamis untuk memperkirakan jumlah sampah di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) yang terletak di Kota Semarang, dengan mengintegrasikan data dari berbagai lokasi untuk mendapatkan pemahaman yang lebih holistik.

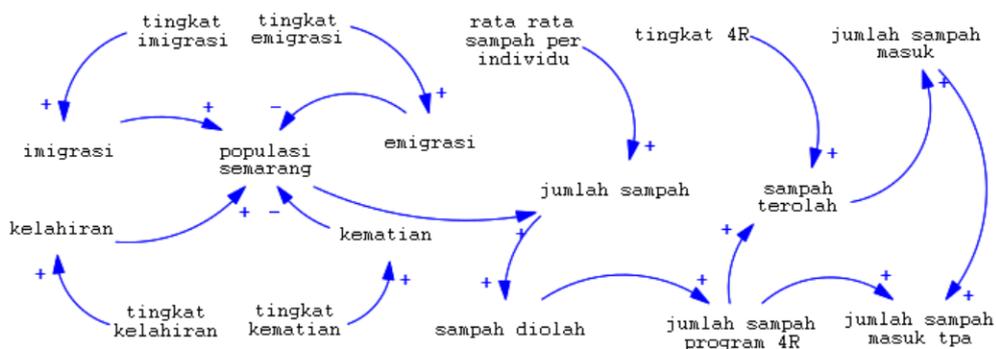
Pemanfaatan pemodelan sistem dinamis sangat penting dalam memahami seluk-beluk sistem yang kompleks, memungkinkan pemahaman yang lebih mendalam tentang struktur dan dinamikanya. Teknik pemodelan ini mempunyai banyak tujuan, termasuk memprediksi kinerja masa depan dari sistem yang ada, mengevaluasi skenario kebijakan untuk mengidentifikasi kebijakan yang berdampak besar, dan merancang intervensi yang dapat mempercepat keberhasilan berdasarkan kondisi sistem yang diharapkan. Dengan memeriksa bagaimana variabel-variabel pengelolaan sampah berinteraksi dan mengidentifikasi variabel-variabel kunci yang berperan, analisis sistem dinamis membantu mengungkap wawasan dan menentukan strategi yang efektif. Sejumlah penelitian telah menggunakan pemodelan sistem dinamis untuk mengeksplorasi skenario alternatif untuk pengurangan limbah, meminimalkan biaya pengelolaan limbah. Upaya telah dilakukan untuk meningkatkan praktik pengelolaan sampah, memperluas cakupan layanan, dan memastikan operasi pengelolaan yang stabil dan berkelanjutan serta layak secara ekonomi dan lingkungan.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pada tahun berapa TPA Kota Semarang akan mencapai kapasitas maksimalnya. Untuk mencapai hal ini, berbagai skenario kebijakan alternatif sedang dicoba dengan mengembangkan model sistem dinamis pengelolaan sampah. Model ini memperhitungkan faktor-faktor seperti imigrasi, emigrasi, angka kelahiran, angka kematian, jumlah sampah di TPS (Tempat Penimbunan Sementara), rata-rata sampah per individu, pengolahan sampah, jumlah sampah program 4R, sampah yang diolah, tingkat penerapan 4R, dan sampah yang masuk. Dengan memanfaatkan model sistem dinamis ini, tujuannya adalah untuk menghasilkan prakiraan yang akurat dan memberikan rekomendasi kebijakan kepada Pemerintah Daerah (Pemda) guna meningkatkan pelayanan pengelolaan sampah di Kota Semarang dan meminimalkan pembuangan sampah di TPA.

Model yang dikembangkan ini mencakup berbagai elemen pengelolaan sampah, mencakup keseluruhan proses dari hulu hingga hilir. Yang membedakan model ini adalah uraian komprehensif mengenai aspek operasional dan teknis, serta pertimbangan pembiayaan yang lebih rinci dibandingkan penelitian-penelitian sebelumnya. Struktur model ini dirancang berdasarkan kondisi pengelolaan sampah yang berlaku di Indonesia, sehingga dapat diterapkan di kota-kota lain juga. Variabel data masukan lebih spesifik dan berasal dari sumber data yang tersedia, sehingga menghasilkan kumpulan data keluaran yang lebih komprehensif. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk melengkapi penelitian yang sudah ada mengenai pemodelan pengelolaan sampah dan memberikan hasil yang lebih tepat.

METODE

Data sekunder digunakan melalui metode Deskstudy dalam melakukan penelitian ini. Data yang digunakan adalah data tahun 2022 yang meliputi data statistik, penelitian literatur, dan sumber lain yang relevan. Data bersumber dari Badan Pusat Statistik, Sistem Informasi Pengelolaan Sampah (SIPSN), Subsistem kependudukan Kota Semarang menjadi salah satu variabel yang diteliti dalam penelitian ini, bersama dengan Portal Semarang Satu Data dan jurnal relevan lainnya. Variabel yang dipakai pada model penelitian ini yaitu, pertama subsistem populasi Kota Semarang yang terdiri dari tingkat imigrasi, imigrasi, tingkat emigrasi, emigrasi, tingkat kelahiran, kelahiran, tingkat kematian, dan kematian. Kedua, yaitu subsistem jumlah sampah pada TPS (Tempat Penampungan Sementara) yang terdiri dari rata rata sampah per individu, sampah diolah, dan jumlah sampah program 4R. Ketiga, yaitu subsistem sampah masuk TPA (Tempat Penampungan Akhir) yang terdiri dari sampah terolah, tingkat 4R, dan jumlah sampah masuk. Analisis yang dilakukan meliputi tiga tahapan yaitu pengembangan model, validasi model, dan prediksi tahun dimana TPA Kota Semarang akan melebihi batas penyimpanan. Langkah awal dalam membuat diagram sebab-akibat adalah dengan mengidentifikasi faktor-faktor yang berdampak pada sistem, seperti yang dikemukakan oleh Prahasta (2018). Diagram ini berfungsi sebagai representasi visual dari berbagai sistem yang berkontribusi terhadap jumlah sampah yang ada di TPA Kota Semarang. Penyusunan diagram sebab akibat dipusatkan pada tiga subsistem tertentu, yaitu Subsistem Kependudukan Kota Semarang, Sistem Jumlah Sampah TPS dan Sistem Jumlah Sampah Masuk TPA. Gambar di bawah ini merupakan diagram diagram sebab-akibat dalam prediksi volume sampah di TPA Kota Semarang.



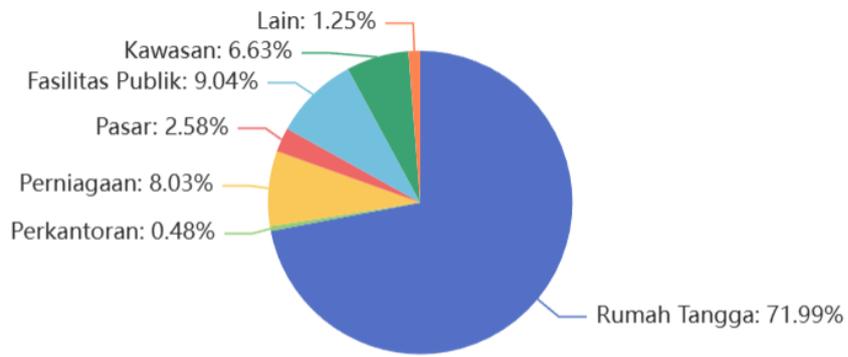
Gambar 1. Diagram causal loop Prediksi Volume Sampah TPA Kota Semarang tahun 2022-2032

Diagram di atas yang dikenal dengan diagram Causal Loop memberikan penjelasan tentang bagaimana variabel-variabel saling berhubungan menggunakan tiga simbol berbeda. Pertama, panah menandakan arah hubungan sebab akibat. Kedua, tanda positif pada sisi panah menunjukkan bahwa peningkatan variabel penyebab menyebabkan peningkatan variabel efek. Sebaliknya, tanda negatif pada sisi panah menunjukkan bahwa penurunan variabel sebab akibat menyebabkan penurunan variabel pengaruh. Gambar di atas secara visual menunjukkan bahwa panah-panah pada diagram mempunyai pengaruh timbal balik satu sama lain.

HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Pengembangan Model

TPA Kota Semarang tempat timbunan sampah dari berbagai sumber, yaitu: rumah tangga, kawasan, fasilitas publik, pasar, perniagaan, perkantoran, dan lain lain, dengan rincian data sebagai berikut:

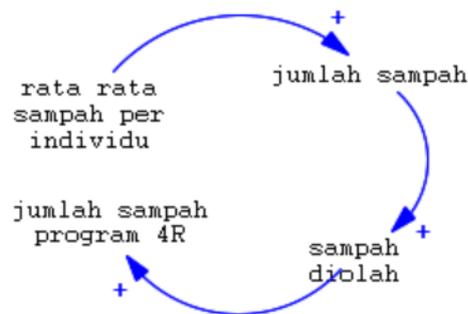


Gambar 2. Data sumber sampah Kota Semarang. Sumber : SIPSN

Secara garis besar model ini juga dapat digambarkan dengan rata rata sampah per individu yang dapat dihitung dengan

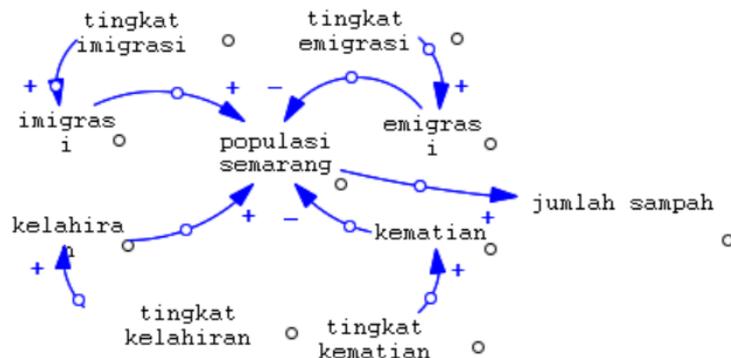
$$\text{Rata rata sampah per individu} = \frac{\text{jumlah sampah}}{\text{jumlah penduduk}} \times 100\% \quad (1)$$

maka akan menjadikan sebuah Causal Loop Diagram (CLD) sebagai berikut :



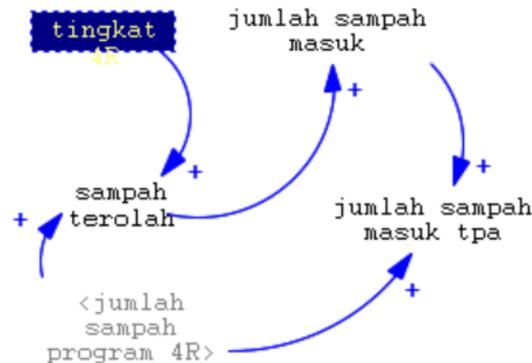
Gambar 3. CLD Jumlah Sampah

Volume sampah yang dihasilkan di Kota Semarang berhubungan langsung dengan jumlah penduduk, artinya seiring bertambahnya jumlah penduduk, jumlah sampah yang dihasilkan setiap harinya juga meningkat (Phiri, Godfrey, & Synman, 2012). Gambar 4 menampilkan diagram lingkaran sebab akibat yang menggambarkan korelasi antara jumlah penduduk dan volume sampah.



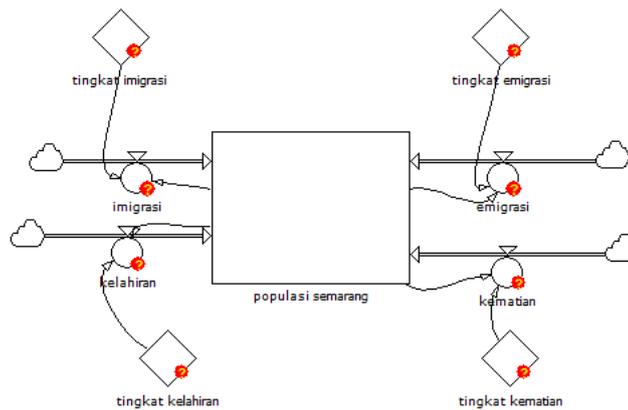
Gambar 4. CLD keterkaitan antara populasi dengan jumlah sampah

Sampah tersebut menjalani pemilahan awal di TPS sebelum dipindahkan ke TPA. Di TPS, sampah dilakukan program 4R yang meliputi pengurangan, penggunaan kembali, daur ulang, dan pemulihan. Gambar 5 menggambarkan proses pengelolaan sampah dan perjalanannya sampai ke TPA.



Gambar 5. CLD Pengolahan dan jumlah sampah masuk TPA

Dengan memanfaatkan model yang ada, terdapat potensi pengembangan lebih lanjut melalui pembuatan Stock and Flow Diagram (SFD). Diagram ini akan memberikan gambaran mengenai pertumbuhan penduduk Kota Semarang di masa depan, dan dampaknya terhadap volume sampah. Data kependudukan yang digunakan dalam SFD bersumber dari Badan Pusat Statistik (BPS, 2023). Gambar 6 mengilustrasikan SFD untuk simulasi proyeksi populasi.



Gambar 6. SFD Populasi Kota Semarang

Untuk menghasilkan data akurat yang mewakili informasi asli, maka dibuatlah model kependudukan Kota Semarang. Model yang digambarkan pada Gambar 6 ini menggunakan persamaan pada Tabel 1. Berdasarkan statistik BPS, Kota Semarang mengalami laju pertumbuhan penduduk sebesar 0,21%. Selanjutnya data keimigrasian dan emigrasi bersumber dari SEMAR SATATA atau Semarang Satu Data. Laju pertumbuhan penduduk dapat dihitung dengan mengurangkan angka kematian dengan angka kelahiran di suatu daerah selama periode tertentu, kemudian kita dapat menggunakan rumus pertumbuhan penduduk alami untuk menghitung angka kelahiran dan angka kematian, sebagai berikut:

$$Pa = L - M \quad (2)$$

Keterangan:

Pa : Pertumbuhan penduduk alami.

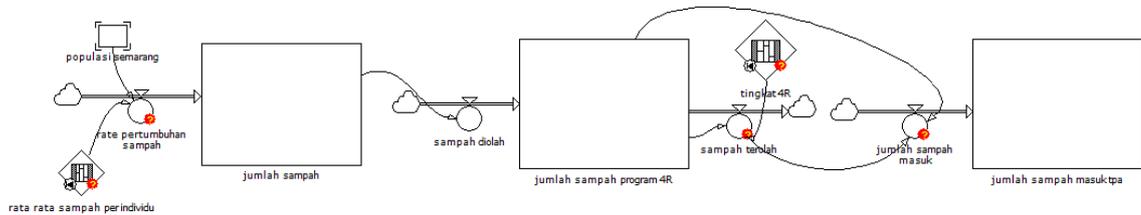
L : Angka kelahiran/tahun.

M : Angka kematian/tahun.

Tabel 1. Tabel formulasi pemodelan populasi Kota Semarang

Variabel	Formula
tingkat imigrasi	1.06
imigrasi	'populasi semarang'*'tingkat imigrasi'
tingkat emigrasi	1.14
emigrasi	'populasi semarang'*'tingkat emigrasi'
tingkat kelahiran	1.15
kelahiran	'populasi semarang'*'tingkat kelahiran'
tingkat kematian	0.9
kematian	'populasi semarang'*'tingkat kematian'
Populasi semarang	1659975

Saat mempertimbangkan perkembangan volume sampah, penting untuk mempertimbangkan berbagai variabel yang dapat memberikan dampak signifikan seperti : rate pertumbuhan sampah, rata rata sampah per individu, jumlah sampah, sampah diolah, jumlah sampah program 4R, sampah terolah, tingkat 4R, jumlah sampah masuk, hingga jumlah sampah masuk TPA. Data asli pada pengembangan volume sampah diambil dari SEMAR SATATA. SFD volume sampah dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. SFD Peningkatan Volume Sampah

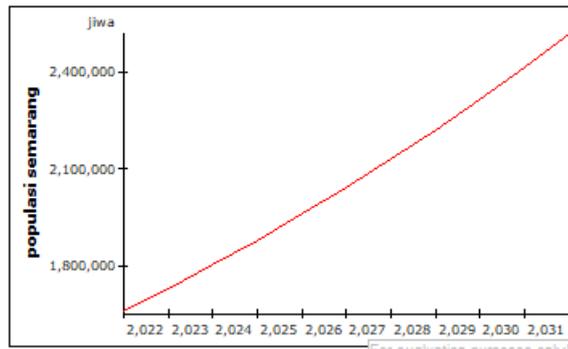
Data yang diperoleh dari SEMAR SATATA digunakan untuk menghitung variabel yang digunakan. Untuk pengolahan sampah di Kota Semarang peneliti menjadikan satu variabel yaitu jumlah sampah program 4R. Model yang ditunjukkan pada Gambar 7 menggunakan persamaan yang diberikan pada Tabel 2 untuk mereplikasi data volume sampah secara akurat.

Tabel 2 Tabel formulasi permodelan sampah masuk TPA

Variabel	Formula
rata rata sampah per individu	0.003
rate pertumbuhan sampah	'populasi semarang'*'rata rata sampah per individu'
jumlah sampah	1690
sampah diolah	'jumlah sampah'
jumlah sampah program 4R	316042.92
sampah terolah	'jumlah sampah program 4R'*'tingkat 4R'
tingkat 4R	1.1
jumlah sampah masuk	'jumlah sampah program 4R'-'sampah terolah'
jumlah sampah masuk TPA	0

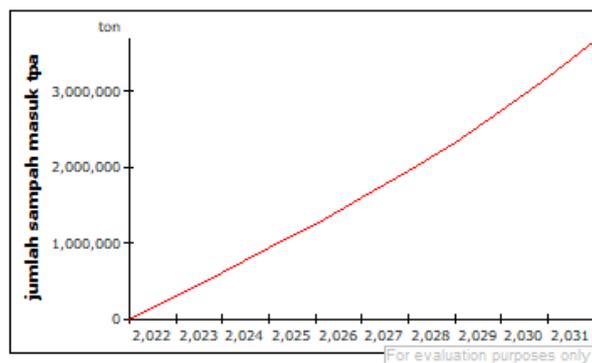
b. Verifikasi Model

Laju pertumbuhan penduduk tahunan Kota Semarang secara konsisten berada pada rata-rata 4,6% per tahun. Berdasarkan hasil simulasi, diperkirakan jumlah penduduk Kota Semarang akan mencapai kurang lebih 1,65 juta jiwa pada tahun 2022 dan 2,51 juta jiwa pada tahun 2032. Grafik di bawah ini menggambarkan tren pertumbuhan penduduk di Kota Semarang secara keseluruhan.



Gambar 8. Proyeksi populasi Kota Semarang hingga tahun 2032

Gambar 9 memberikan representasi visual dari temuan simulasi mengenai total volume sampah yang dibuang di TPA Kota Semarang. Hasilnya menunjukkan peningkatan volume sampah yang signifikan, yaitu sebesar 431 ribu ton pada tahun 2022. Proyeksi menunjukkan bahwa angka ini akan meningkat dua kali lipat pada tahun 2025, yaitu mencapai sekitar 937 ribu ton. Selain itu, perkiraan menunjukkan bahwa pada tahun 2032, volume sampah yang dikirim ke TPA akan meningkat delapan kali lipat, mencapai 3,6 juta ton. Rata-rata peningkatan volume sampah setiap tahunnya dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Proyeksi sampah masuk TPA tahunan hingga 2032

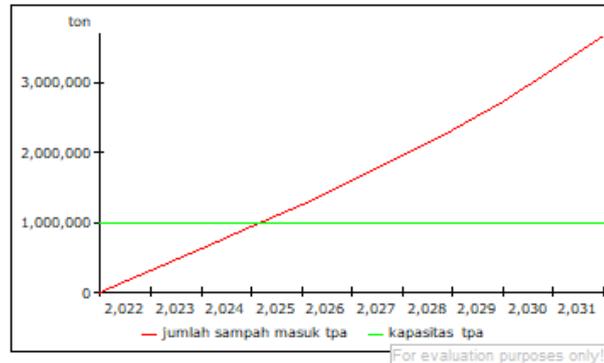
Berdasarkan temuan simulasi, dapat disimpulkan bahwa terdapat korelasi langsung antara pertumbuhan penduduk dengan peningkatan volume sampah. Proyeksi pertumbuhan penduduk dan peningkatan volume sampah untuk dekade berikutnya di Kota Semarang diuraikan pada Gambar 10.

year	jumlah sampah masuk tpa (ton)	jumlah sampah (ton)	populasi semarang (jiwa)	jumlah sampah program 4R (ton)
2,022	0.00	1,690.00	1,659,975.00	316,042.92
2,023	312,566.45	6,669.93	1,730,665.04	314,256.45
2,024	623,366.07	11,861.92	1,804,365.41	317,469.55
2,025	937,343.46	17,275.02	1,881,204.31	325,839.31
2,026	1,259,598.54	22,918.63	1,961,315.39	339,530.09
2,027	1,595,393.80	28,802.58	2,044,838.01	358,713.89
2,028	1,950,161.83	34,937.09	2,131,917.43	383,570.61
2,029	2,329,513.17	41,332.84	2,222,705.14	414,288.42
2,030	2,739,244.42	48,000.96	2,317,359.04	451,064.09
2,031	3,185,346.81	54,953.03	2,416,043.77	494,103.35
2,032	3,674,015.02	62,201.17	2,518,931.00	543,621.24

Gambar 10. Prediksi Peningkatan Variabel

c. Prediksi Timbunan Sampah Melebihi Batas

Dalam model ini, ditambahkan variabel sebagai batas volume sampah di TPA Kota Semarang dengan angka 1 juta ton. Dengan SFD yang telah dibuat pada tahun 2026. Berdasarkan Gambar 11, jumlah sampah diperkirakan akan melebihi kapasitas penyimpanan sekitar 1,2 ton.



Gambar 11. Proyeksi perkiraan sampah melebihi batas tampungan

SIMPULAN

Berdasarkan temuan yang dilakukan, terlihat bahwa simulasi perkiraan volume sampah menunjukkan peningkatan yang signifikan sebesar 314.000 ton pada tahun 2024. Tren peningkatan ini diperkirakan akan terus berlanjut di tahun-tahun mendatang. Peningkatan volume sampah disebabkan oleh pertumbuhan penduduk yang stabil di Kota Semarang, yang tumbuh rata-rata sebesar 4,6 persen setiap tahunnya, selain itu variabel yang linear dengan peningkatan volume sampah pada TPA Kota Semarang adalah variabel jumlah sampah yang merupakan sampah dari TPS, variabel populasi Semarang, dan jumlah sampah program 4R, seperti terlihat pada gambar 10. Data perkiraan ini bertujuan untuk membantu Pemerintah Kota Semarang dan dinas terkait dalam merancang rencana pengembangan TPA yang lebih efisien atau strategi 4R yang komprehensif sehingga hal-hal tidak diinginkan tidak terjadi di tahun-tahun yang akan datang.

REFERENSI

- Abraham, R., Fauzi, A., & Nuva, N. (2017). Model simulasi dinamik pengelolaan sampah padat permukiman berbasis program 3R di Kota Bogor. Institut Pertanian Bogor.
- Adipraja, P. F. E., & Islamiyah, M. (2016). Prediksi Volume Sampah TPAS Talangagung dengan Pendekatan Sistem Dinamik. *Smatika Jurnal: STIKI Informatika Jurnal*, 6(02), 24-28.
- Andrik, F. C. A. (2010). Kajian Pembiayaan Sampah dalam Mendukung Pengelolaan Sampah di Pasar Johar Kota Semarang. Skripsi. Fakultas Teknik Jurusan Perencanaan Wilayah dan Kota. Universitas Diponegoro.
- Artika, I., & Chaerul, M. (2020). Model sistem dinamik untuk evaluasi skenario pengelolaan sampah di Kota Depok. *Jurnal Wilayah dan Lingkungan*, 8(3), 261-279.
- Badan Pusat Statistik Kota Semarang. (2023). Laju Pertumbuhan (Persen) 2020-2022. Semarang: Badan Pusat Statistik Kota Semarang.
- Badan Standarisasi Nasional. 2002. SK SNI 19-2454-2002 Tentang Tata Cara Teknik Operasional Pengolahan Sampah Perkotaan. Jakarta : Balitbang DPU.
- Bala, B. K., Arshad, F. M., & Noh, K. M. (2017). Modelling of solid waste management systems of Dhaka City in Bangladesh. In B. K. Bala, F. M. Arshad, & K. M. Noh (Eds.), *System dynamics* (pp. 249–274). Singapore: Springer. doi:10.1007/978-981-10-2045-2_12.
- Baso, A. N. A., Hadiwidodo, M., & Samudro, G. (2017). Perencanaan sistem pengelolaan persampahan pelayanan TPA Kaligending Kabupaten Kebumen (Doctoral dissertation, Diponegoro University). doi:10.5322/JESI.2017.26.10.1185.
- Fauzan, A. Y. (2017). Strategi pengelolaan sampah untuk mengurangi timbunan sampah plastik (sistem pengelolaan sampah dengan simulasi model sistem dinamik di Pulau Pramuka Kabupaten Administrasi Kepulauan Seribu). Universitas Indonesia.

- Giannis, A., Chen, M., Yin, K., Tong, H., & Veksha, A. (2017). Application of system dynamics modeling for evaluation of different recycling scenarios in Singapore. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 19, 1177-1185.
- Istingadah, J., & Warmadewanthi, I. D. A. A. (2022). Optimasi Pengangkutan Sampah di Kecamatan Kebumen Kabupaten Kebumen. *Jurnal Teknik ITS (SINTA: 4, IF: 1.1815)*, 11(1), C17-C22.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2023). Data pengelolaan sampah. Retrieved from <http://sipsn.menlhk.go.id/>.
- Kholil, K. (2005). Rekayasa model sistem dinamik pengelolaan sampah terpadu berbasis nirlimbah (zero waste) studi kasus di Jakarta Selatan. Institut Pertanian Bogor
- Popli, K., Sudibya, G. L., & Kim, S. (2017). A review of solid waste management using system dynamics modeling. *Journal of Environmental Science International*, 26(10), 1185–1200.
- Semarang Satu Data. 2023. (data migrasi). <https://data.semarangkota.go.id/elementdata/cari?cari=migrasi&tahunAwal=2022&tahunAkhir=2022>. diakses pada 28 Desember 2023. 21:33 WIB
- Wildanurrizal, W., Bahauddin, A., & Ferdinant, P. F. (2014). Perancangan model simulasi pengelolaan sampah dengan pendekatan sistem dinamis di Kota Cilegon. *Jurnal Teknik Industri*, 2(3). Retrieved from <https://jurnal.untirta.ac.id/index.php/jti/article/view/2313>.
- Wulandari, W. A., Supriana, T., & Jufri, M. (2013). Faktor-faktor yang Mempengaruhi Harga Daging Sapi di Sumatera Utara. *Journal of Agriculture and Agribusiness Socioeconomics*, 2(11), 15158
- Yudiyanto, Y. (2007). Analisis sistem pengelolaan sampah permukiman di Kota Bogor. Institut Pertanian Bogor.
- Zulfinar, Z., & Sembiring, E. (2015). Dinamika jumlah sampah yang dihasilkan di Kota Bandung. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 21(1), 18-28.