

Potensi Model Sistem Dinamik dalam Sistem Pengelolaan Sampah Perkotaan

Mawardi Heru Prasetyo^{1*}, Fitriyane Lihawa², Dewi Wahyuni K. Baderan³
^{1,2,3} Kependudukan dan Lingkungan Hidup, Pascasarjana Universitas Negeri Gorontalo,
Indonesia

Alamat: Jl. Jend. Sudirman No. 6, Kec. Kota Tengah, Kota Gorontalo 96128

Korespondensi penulis: herhuprasetyo@yahoo.com

Abstract. *System dynamic models have been recognized as an effective approach in projecting and designing sustainable urban waste management systems. This study aims to explore the potential of system dynamic modeling in urban waste management. This study uses a literature study method with a qualitative descriptive approach that refers to various relevant previous studies. The results of the literature study show that the system dynamic model is able to map the complex relationships between variables in the waste management system, such as population growth, waste production, waste processing capacity, environmental impacts, and others. In addition, the system dynamic model can project future waste management conditions and prepare the most effective policy scenarios. Through simulations of various policy scenarios, the system dynamic model can provide insight into the impact of each scenario, both in terms of technical efficiency, operational costs, and reduction of waste generation in landfills. In implementing policy scenarios, collaboration between the government, community, and stakeholders is also needed in optimizing waste management programs.*

Keywords: *Systems, Dynamic, Waste, Management, Projections.*

Abstrak. Model sistem dinamik telah diakui sebagai pendekatan yang efektif dalam memproyeksi dan merancang sistem pengelolaan sampah perkotaan yang berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan untuk menggali potensi apa saja yang dimiliki oleh pemodelan sistem dinamik dalam pengelolaan sampah perkotaan. Penelitian ini menggunakan metode studi literatur dengan pendekatan deskriptif kualitatif yang merujuk pada berbagai penelitian terdahulu yang relevan. Hasil studi literatur menunjukkan bahwa model sistem dinamik mampu memetakan hubungan kompleks antar variabel dalam sistem pengelolaan sampah, seperti pertumbuhan penduduk, produksi sampah, kapasitas pengolahan sampah, dampak lingkungan, dan lain-lain. Selain itu, model sistem dinamik dapat memproyeksi kondisi pengelolaan sampah di masa mendatang dan menyiapkan skenario kebijakan yang paling efektif. Melalui simulasi berbagai skenario kebijakan, model sistem dinamik dapat memberikan wawasan tentang dampak dari setiap skenario, baik dalam hal efisiensi teknis, biaya operasional, maupun pengurangan timbulan sampah di TPA. Dalam menerapkan skenario kebijakan, perlu juga adanya kolaborasi antara pemerintah, masyarakat, dan stakeholder dalam mengoptimalkan program pengelolaan sampah.

Kata kunci: Sistem, Dinamik, Pengelolaan, Sampah, Proyeksi.

1. LATAR BELAKANG

Sampah telah lama menjadi permasalahan besar yang dihadapi Indonesia. Menurut Pasal 1 Undang-Undang No. 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah, yang dimaksud dengan Sampah adalah sisa kegiatan sehari-hari manusia dan/atau proses alam yang berbentuk padat. Masalah pengelolaan sampah hingga saat ini menjadi salah satu isu lingkungan yang semakin mendesak di berbagai kota di Indonesia. Pertumbuhan jumlah penduduk, urbanisasi yang cepat, serta pola konsumsi yang tidak terkendali menyebabkan volume sampah yang dihasilkan setiap harinya terus meningkat. Indonesia tercatat sebagai salah satu negara penghasil sampah terbesar di dunia. Berdasarkan data dari situs Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) Kementerian LHK (2024), pada tahun 2023 Indonesia menghasilkan sekitar 40,3 juta

ton sampah per tahun, dan sebagian dari sampah tersebut berakhir di tempat pemrosesan akhir (TPA), dibakar, atau dibuang ke badan air, yang mempengaruhi kualitas lingkungan dan kesehatan masyarakat.

Pengelolaan sampah yang efektif memerlukan pendekatan yang sistematis dan berbasis data untuk memastikan bahwa proses pengumpulan, pemilahan, pengolahan, dan pemrosesan akhir sampah berjalan dengan efisien dan berkelanjutan. Pengelolaan sampah tersebut merupakan kegiatan yang kompleks dan dinamis. Kompleks karena dipengaruhi berbagai aspek seperti peraturan, kelembagaan, keuangan, teknis, dan partisipasi masyarakat. Dinamis karena dengan meningkatnya jumlah penduduk, maka jumlah timbulan sampah akan terus meningkat dan sarana prasarana pengelolaan sampah juga perlu ditingkatkan (Damanhuri & Padmi, 2010). Salah satu metode yang dapat digunakan untuk merancang, menganalisis, dan memproyeksi sistem pengelolaan sampah perkotaan adalah dengan model Sistem Dinamik.

Sistem Dinamik adalah pendekatan yang menggunakan model matematis untuk menggambarkan hubungan sebab-akibat antara berbagai elemen dalam suatu sistem. Penelitian ini bertujuan untuk menggali potensi apa saja yang dimiliki oleh metode pemodelan sistem dinamik dalam kaitannya dengan sistem pengelolaan sampah perkotaan dengan merujuk pada berbagai penelitian terdahulu yang relevan. Dengan mengetahui potensi dalam penggunaan metode tersebut, maka diharapkan akan diperoleh gambaran secara utuh mengenai peran sistem dinamik dalam membantu penyelesaian masalah yang akan dihadapi di masa mendatang berkaitan dengan sistem pengelolaan sampah perkotaan.

2. KAJIAN TEORITIS

Pengertian Sampah

Dalam Pasal 1 Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah, yang dimaksud dengan Sampah adalah sisa kegiatan sehari-hari manusia dan/atau proses alam yang berbentuk padat. Penghasil sampah adalah setiap orang dan/atau akibat proses alam yang menghasilkan timbulan sampah. Undang-Undang tersebut membagi kategori sampah menjadi beberapa kategori, yaitu sampah rumah tangga, sampah sejenis sampah rumah tangga, dan sampah spesifik. Dalam Pasal 2 Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2008, disebutkan bahwa sampah rumah tangga berasal dari kegiatan sehari-hari dalam rumah tangga, tidak termasuk tinja dan sampah spesifik. Sampah sejenis sampah rumah tangga berasal dari kawasan komersial, kawasan industri, kawasan khusus, fasilitas sosial, fasilitas umum, dan/atau fasilitas lainnya. Sampah spesifik meliputi sampah yang mengandung bahan berbahaya dan beracun (B3), sampah yang mengandung limbah B3, sampah yang timbul akibat bencana, puing

bongkaran bangunan, sampah yang secara teknologi belum dapat diolah, dan/atau sampah yang timbul secara tidak periodik.

Berdasarkan sifatnya, sampah digolongkan menjadi 2 (dua), yaitu sampah organik dan sampah anorganik. Sampah organik adalah sampah yang dihasilkan dari bahan-bahan hayati yang dapat didegradasi oleh mikroba atau bersifat *biodegradable*. Sampah anorganik adalah sampah yang dihasilkan dari bahan-bahan non hayati, baik berupa produk sintetik maupun hasil proses pengolahan bahan tambang dan sebagian besar anorganik tidak dapat diurai oleh alam/mikroorganisme secara keseluruhan. Timbulan sampah dapat berasal dari permukiman penduduk, tempat-tempat umum dan perdagangan, sarana pelayanan masyarakat milik pemerintah, industri, dan pertanian (Gelbert et al., 1996).

Pengelolaan Sampah

Pengelolaan sampah rumah tangga dan sampah sejenis sampah rumah tangga terdiri atas pengurangan sampah dan penanganan sampah. Pengurangan sampah meliputi kegiatan pembatasan timbulan sampah, pendauran ulang sampah, dan/atau pemanfaatan kembali sampah. Penanganan sampah meliputi (UU No. 18, 2008):

1. Pemilahan dalam bentuk pengelompokan dan pemisahan sampah sesuai dengan jenis, jumlah, dan/atau sifat sampah;
2. Pengumpulan dalam bentuk pengambilan dan pemindahan sampah dari sumber sampah ke tempat penampungan sementara atau tempat pengolahan sampah terpadu;
3. Pengangkutan dalam bentuk membawa sampah dari sumber dan/atau dari tempat penampungan sampah sementara atau dari tempat pengolahan sampah terpadu menuju ke tempat pemrosesan akhir;
4. Pengolahan dalam bentuk mengubah karakteristik, komposisi, dan jumlah sampah;
5. Pemrosesan akhir sampah dalam bentuk pengembalian sampah dan/atau residu hasil pengolahan sebelumnya ke media lingkungan secara aman.

Sistem Dinamik

Sistem dinamik adalah suatu bidang untuk memahami bagaimana sesuatu berubah menurut waktu. Sistem ini dibentuk oleh persamaan-persamaan diferensial. Persamaan diferensial digunakan untuk masalah-masalah biofisik yang diformulasikan sebagai keadaan di masa datang yang tergantung dari keadaan sekarang (Forrester, 1999). Model yang dikembangkan dengan sistem dinamik mempunyai karakteristik yaitu menggambarkan hubungan sebab akibat dari sistem; sederhana dalam *mathematical nature*; sinonim dengan

terminologi dunia industri, ekonomi, dan sosial dalam tata nama; dapat melibatkan banyak variabel; dan dapat menghasilkan perubahan yang tidak kontinu jika dalam keputusan memang dibutuhkan (Noorsaman & Wahid, 1998 dalam Suryani et al., 2021). Karakteristik dari model sistem dinamik yaitu dinamika sistem yang kompleks, perubahan perilaku sistem terhadap waktu, adanya sistem umpan balik tertutup, adanya umpan balik ini menggambarkan informasi baru tentang keadaan sistem (Suryani et al., 2021).

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode studi literatur dengan pendekatan deskriptif kualitatif. Data diperoleh dari berbagai sumber yang relevan untuk menunjang pembahasan, seperti dari sejumlah penelitian terdahulu, buku, dan Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) KLHK. Analisis yang digunakan berupa analisis deskriptif untuk menggambarkan atau menjelaskan fenomena, karakteristik, atau kejadian tertentu berdasarkan data yang terkumpul.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Masalah dalam pengelolaan sampah merupakan masalah yang kompleks sekaligus menjadi tantangan bagi Indonesia sampai dengan saat ini, terutama di daerah perkotaan. Berdasarkan data Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN), pada tahun 2023 timbulan sampah di Indonesia mencapai 40,36 juta ton atau meningkat 4,88 persen dibandingkan tahun 2022 yang sebesar 38,48 juta ton. Penyumbang timbulan sampah terbesar yaitu Kota Adm. Jakarta Timur sebesar 851,61 ribu ton atau sebesar 2,11 persen dari total timbulan sampah di Indonesia. Dari Tabel 1, dapat dilihat bahwa sebagian besar penyumbang timbulan sampah terbanyak di Indonesia berasal dari daerah perkotaan.

Tabel 1. Sepuluh Kabupaten/Kota di Indonesia dengan Timbulan Sampah Terbanyak Tahun 2023

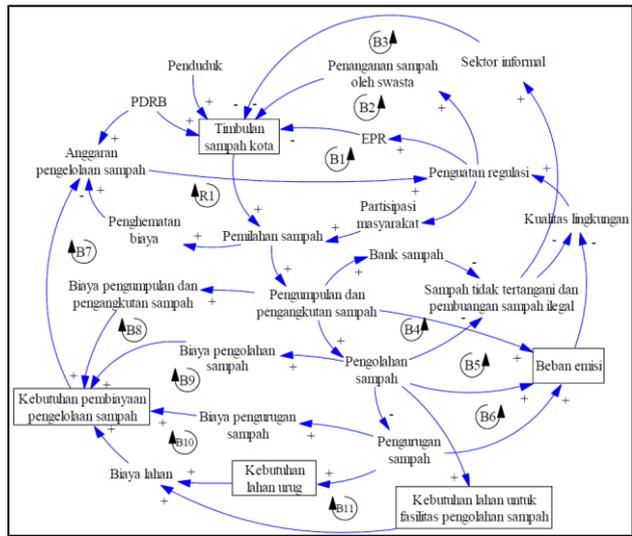
No.	Kabupaten/Kota	Timbulan Sampah (Ton/Tahun)	Persentase Timbulan Sampah Indonesia (%)
1	Kota Adm. Jakarta Timur	851.613,56	2,11
2	Kab. Bekasi	809.935,00	2,01
3	Kota Adm. Jakarta Barat	748.135,30	1,85
4	Kota Adm. Jakarta Selatan	719.463,79	1,78
5	Kota Surabaya	657.016,64	1,63
6	Kota Medan	645.661,28	1,60
7	Kota Bekasi	637.778,59	1,58
8	Kota Tangerang	514.478,12	1,27
9	Kota Adm. Jakarta Utara	504.560,46	1,25
10	Kab. Bandung	475.058,82	1,18
Indonesia		40.358.042.81	

Sumber: Website Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) KLHK, 2023

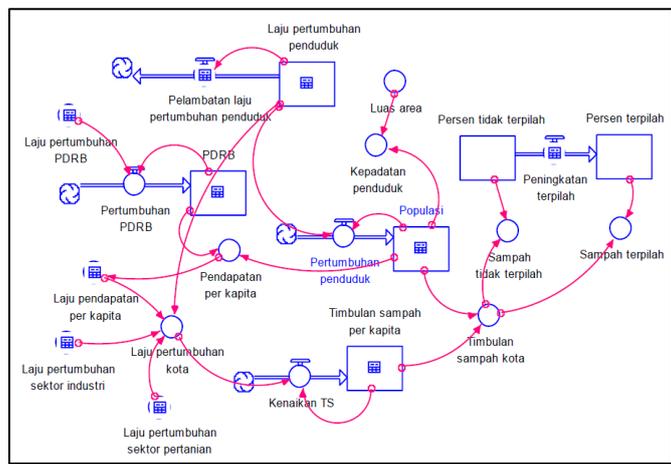
Banyaknya sampah dan meningkatnya timbulan sampah setiap tahunnya di daerah perkotaan mencerminkan kompleksnya pengelolaan sampah yang belum tertangani hingga saat ini. Permasalahan tersebut dapat dipicu oleh berbagai faktor salah satunya jumlah penduduk. Pertumbuhan penduduk yang terus meningkat setiap tahunnya memiliki korelasi positif terhadap peningkatan timbulan sampah (Rusvinasari & Risnanto, 2024).

Berbagai upaya telah dilakukan pemerintah, namun pengelolaan sampah tidak hanya bergantung pada kebijakan pemerintah, tetapi perlu peran aktif seluruh masyarakat dan kolaborasi antar *stakeholder* agar permasalahan pengelolaan sampah dapat diatasi dengan lebih efektif dan berkelanjutan. Selain itu, perlu adanya skema pengelolaan sampah untuk meminimalisasi timbulan sampah di masa mendatang. Dalam konteks ini, pendekatan model sistem dinamik dapat digunakan untuk memahami kompleksitas sistem dan merumuskan strategi yang efektif dalam pengelolaan sampah. Perumusan model sistem dinamik meliputi beberapa prosedur yaitu 1. *Causal Loop Diagram* (CLD) yang digunakan untuk mengidentifikasi hubungan sebab-akibat (kausalitas) dan umpan balik (*feedback*) dalam sistem pengelolaan sampah (seperti pada Gambar 1) sehingga dapat dipahami faktor-faktor utama yang memengaruhi timbulan sampah; 2. *Stock Flow Diagram* (SFD) untuk memetakan stok/*level* (seperti timbulan sampah atau kapasitas TPA) serta aliran masuk dan keluar, seperti pengangkutan, pengolahan, dan daur ulang, untuk memberikan gambaran detail tentang dinamika sistem, seperti pada Gambar 2; 3. Validasi model untuk memastikan bahwa model

yang dirancang dapat merepresentasikan realitas dengan baik melalui pengujian terhadap data historis dengan menggunakan rumus pada Tabel 2; 4. Simulasi model sistem dinamik sekaligus memproyeksi pengelolaan sampah dengan berbagai skenario yang dirancang; 5. Analisis skenario untuk menentukan opsi yang paling efektif dan efisien sehingga dapat diterapkan dalam perencanaan.



Sumber: Chaerul & Artika, 2021
Gambar 1. Causal Loop Diagram (CLD)



Sumber: Chaerul & Artika, 2021
Gambar 2. Stock Flow Diagram (SFD)

Tabel 2. Rumus Validasi Hasil Simulasi

<i>Mean Comparison</i>	<i>Error variance</i>
$E1 = \frac{ \bar{S} - \bar{A} }{\bar{A}}$	$E2 = \frac{ S_s - S_a }{S_a}$
Dimana : \bar{S} = Nilai rata-rata hasil simulasi \bar{A} = Nilai rata-rata data Model dianggap valid apabila $E1 \leq 5\%$.	Dimana : S_s = Standar deviasi hasil simulasi S_a = Standar deviasi data Model dianggap valid apabila $E2 \leq 30\%$.

Sumber: Barlas, 1989

Penelitian yang berkaitan dengan pengelolaan sampah menggunakan pendekatan sistem dinamik telah banyak dilakukan sebelumnya. Penelitian-penelitian tersebut antara lain membahas tentang alternatif pengelolaan sampah untuk mengurangi beban penumpukan sampah di TPA (Surjandari et al., 2009); pengolahan sampah secara berkelanjutan untuk mengetahui seberapa banyak sampah yang dapat diolah (Hariani & Suprajaka, 2017); efisiensi perencanaan pada sistem pengangkutan sampah untuk menentukan jumlah armada pengangkutan sampah (Zalukhu & Mirwan, 2018); analisis faktor yang mempengaruhi penerapan kebijakan pengelolaan sampah (Habibah et al., 2020); strategi untuk mengoptimalkan pelayanan pengelolaan sampah di TPA (Chaerul & Artika, 2021); timbulan sampah organik dan skema pengolahannya (Solo et al., 2024); dan peramalan jumlah sampah di TPA (Rusvinasari & Risnanto, 2024).

Hariani & Suprajaka (2017) melakukan penelitian pemodelan sistem dinamik pengolahan sampah secara berkelanjutan di Kelurahan Duri Kepa Jakarta Barat. Tujuan penelitian tersebut adalah untuk mengidentifikasi sistem pengolahan sampah, faktor-faktor yang mempengaruhi peningkatan jumlah sampah serta membuat skenario pemodelan sistem dinamik pengolahan sampah berkelanjutan dengan menggunakan model sistem dinamik. Tiga skenario yang digunakan yaitu sebagai berikut:

Tabel 3. Variabel/Sub Variabel Pembentuk Skenario 1, 2, dan 3

Variabel/Sub Variabel	Skenario Pengolahan Sampah		
	Skenario 1 (optimis)	Skenario 2 (moderat)	Skenario 3 (pesimis)
Persentase sampah terolah dengan Komposting	10% per bulan	7% per bulan	3% per bulan
Persentase sampah terolah oleh Bank Sampah	25% per bulan	15% per bulan	8% per bulan
Laju pertumbuhan penduduk	0,04% per tahun		
Laju kematian kasar	0,03% per tahun		
Laju migrasi masuk	0,5% per tahun		
Jumlah penduduk awal	67.655 Jiwa		
Volume sampah per orang	0,0095 ton per orang		
Persentase sampah di TPS	70% per bulan		

Sumber: Hariani & Suprajaka, 2017

Berdasarkan hasil penelitian tersebut, diketahui bahwa faktor yang mempengaruhi jumlah sampah adalah jumlah penduduk. Peningkatan jumlah penduduk berbanding lurus dengan jumlah sampah yang dihasilkan sehingga berpotensi terjadinya penumpukan sampah di masa mendatang. Alternatif solusi yang dapat diterapkan dalam penanganan sampah dapat berupa metode komposting dan penyediaan bank sampah. Dari ketiga skenario tersebut, skenario yang paling tepat dilakukan adalah skenario optimis yaitu dengan melakukan pengolahan sampah sebesar 35% baik diolah dengan komposting maupun pengolahan di bank sampah. Namun, implementasi skenario ini harus didukung dengan partisipasi dari sejumlah pihak seperti Dinas Kebersihan, pemulung, dan masyarakat di Kelurahan Duri Kepa. Jika metode ini dapat diterapkan, maka akan mengurangi anggaran penanganan masalah sampah.

Selain itu, Solo et al. (2024) juga melakukan penelitian yang sama tentang pemodelan sistem dinamik pengolahan sampah organik di Kelurahan Oesapa Kota Kupang. Penelitian tersebut dilakukan untuk mengetahui timbulan sampah organik dengan beberapa skenario pengolahan sampah yaitu skenario 0 (kondisi pengolahan sampah eksisting), skenario 1 (skenario optimis), skenario 2 (skenario moderat), dan skenario 3 (skenario pesimis). Skenario 0 dengan beberapa unsur pembentuk variabel/sub variabel yaitu 1. Laju pertumbuhan penduduk sebesar 4% per tahun; 2. Jumlah penduduk awal sebesar 24.985 orang; 3. Volume sampah organik sebesar 0,000463 m³/orang/hari; 4. Persentase sampah organik terolah sebesar 0,15%; 5. Persentase sampah organik terangkut ke TPA sebesar 39,07%; dan 6. Persentase sampah organik yang tidak terolah dan tidak terangkut sebesar 60,78%. Sementara itu, untuk skenario 1, 2, dan 3 diberikan perlakuan yang sama untuk variabel jumlah penduduk awal, laju pertumbuhan penduduk, dan volume sampah organik, tetapi dibedakan pada persentase sampah organik yang terolah di TPS3R dengan metode BSF, persentase sampah organik yang terangkut

ke TPA, dan persentase sampah organik yang terolah dengan komposting, seperti pada tabel berikut:

Tabel 4. Variabel/Sub Variabel Pembentuk Skenario 1, 2, dan 3

Variabel/Sub Variabel	Skenario Pengolahan Sampah		
	Skenario 1 (optimis)	Skenario 2 (moderat)	Skenario 3 (pesimis)
Presentase Sampah Organik Terolah pada TPS-3R dengan Metode BSF	80%	75%	70%
Presentase Sampah Organik Terangkut Ke TPA	5%	15%	24%
Presentase Sampah Organik Terolah dengan Komposting	15%	10%	5%
Laju Pertumbuhan Penduduk	4%		
Jumlah Penduduk Awal	24.895 orag		
Volume Sampah Organik	0,463 m ³ /orang/hari		

Sumber: Solo et al., 2024

Hasil proyeksi penduduk menunjukkan bahwa jumlah penduduk di Kelurahan Oesapa selama 10 tahun ke depan mengalami peningkatan. Peningkatan jumlah penduduk akan mengakibatkan peningkatan jumlah sampah organik. Berdasarkan hasil simulasi sistem dinamik, skenario 1 merupakan skenario terbaik dalam mengatasi masalah timbulan sampah organik yaitu dengan cara mengolah sampah dengan metode BSF dan komposting sehingga jumlah sampah yang terangkut ke TPA dapat berkurang.

Dari dua penelitian di atas (Hariani & Suprajaka, 2017 dan Solo et al., 2024), walaupun hasil proyeksi jumlah penduduk terus mengalami peningkatan, dengan model sistem dinamik permasalahan pengelolaan sampah dapat diatasi dengan mencari skenario yang paling efektif untuk menghasilkan kondisi yang lebih optimal. Dari hasil penelitian tersebut, diperoleh bahwa skenario terbaik yang dapat diterapkan yaitu melakukan pengolahan terlebih dahulu terhadap sampah sebelum masuk ke TPS/TPA.

Penelitian lainnya dengan metode sistem dinamik juga dilakukan oleh Zalukhu & Mirwan (2018) dengan fokus bahasan yaitu sistem pengangkutan sampah untuk menentukan jumlah armada yang akan digunakan dalam proses pengangkutan sampah di Kota Bangkalan, dengan proyeksi selama 5 tahun mendatang. Pendekatan sistem dinamik digunakan agar dapat menyempurnakan efisiensi perencanaan pada sistem pengangkutan sampah. Variabel yang digunakan pada penelitian ini untuk mendapatkan hasil jumlah armada yang lebih efisien yaitu jumlah penduduk, timbulan sampah, jarak tempuh, usia armada, kapasitas truk, jumlah ritasi, dan kondisi TPA.

Dari hasil simulasi, terdapat perbedaan jumlah armada dengan kondisi eksisting sehingga perlu adanya penambahan armada pengangkutan sampah di Kota Bangkalan dengan memperhatikan kebutuhan ritasi. Penambahan armada tersebut disebabkan karena timbulan sampah yang meningkat setiap tahun. Hal tersebut sejalan dengan variabel jumlah penduduk dan timbulan sampah yang memiliki hubungan *causal loop* positif. Peningkatan jumlah penduduk dan timbulan sampah menunjukkan pola yang identik dengan kebutuhan jumlah armada yang juga meningkat. Untuk memaksimalkan pelayanan di Kota Bangkalan, maka diperlukan pengadaan 1 unit armada pengangkutan sampah setiap 2 tahun sekali.

Rusvinasari & Risnanto (2024) telah melakukan penelitian tentang prediksi volume sampah TPA di Kota Semarang dengan pendekatan Sistem Dinamik. Pendekatan tersebut digunakan untuk menganalisis tren pertumbuhan jangka panjang, mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi, dan merancang solusi yang berkelanjutan. Penelitian dilakukan untuk mengetahui pada tahun berapa TPA Kota Semarang akan mencapai kapasitas maksimalnya dengan berbagai skenario kebijakan alternatif. Adapun faktor-faktor yang diteliti yaitu emigrasi, imigrasi, angka kematian, angka kelahiran, jumlah sampah di TPS, rata-rata sampah per individu, jumlah sampah program 4R, tingkat penerapan 4R, pengolahan sampah, sampah yang diolah, dan sampah yang masuk. Hasil simulasi menunjukkan bahwa dengan laju pertumbuhan penduduk yang konsisten setiap tahun terjadi peningkatan volume sampah yang signifikan, artinya terdapat korelasi antara pertumbuhan penduduk dan peningkatan volume sampah. Jumlah sampah diperkirakan akan melebihi kapasitas penyimpanan pada tahun 2026.

Chaerul & Artika (2021) mengevaluasi skenario pengelolaan sampah di wilayah pelayanan Tempat Pengolahan dan Pemrosesan Akhir Sampah (TPPAS) Nambo yang melayani 4 wilayah yaitu Kota Depok, Kota Bogor, Kabupaten Bogor, dan Kota Tangerang Selatan. Tujuannya adalah untuk mengoptimalkan pelayanan pengelolaan sampah di 4 wilayah tersebut dengan menganalisis berbagai alternatif skenario kebijakan dan pengaruhnya terhadap sampah yang terangkut ke TPPAS Nambo dengan pendekatan model sistem dinamik. Simulasi dilakukan terhadap 4 skenario yaitu skenario 1 yaitu *business as usual* (BAU) atau kondisi eksisting bertujuan untuk melihat perubahan kondisi di waktu mendatang jika dibiarkan mengikuti kecenderungan pada kondisi di masa sekarang; skenario 2 yaitu optimalisasi fasilitas pengolahan sampah eksisting saat tingkat pelayanan persampahan mencapai 100%; skenario 3 yaitu implementasi rencana induk pengelolaan sampah daerah (*masterplan*); dan skenario 4 yaitu implementasi Kebijakan Strategi Daerah (Jakstrada) untuk melihat signifikansi pengurangan sampah ke TPA jika target Jakstrada 30% pengurangan dan 70% penanganan. Selanjutnya, 4 skenario tersebut dilakukan analisis terhadap timbulan sampah, biaya

pengelolaan sampah, kapasitas fasilitas pengolahan sampah, kapasitas pengangkutan, dan emisi lingkungan. Dari hasil pemodelan sistem dinamik, maka skenario 4 yaitu pengurangan sampah hingga 30% sesuai Jakstrada merupakan skenario yang paling optimal bila mempertimbangkan beberapa faktor yang meliputi jumlah timbulan sampah yang harus dikelola, biaya operasional, kebutuhan lahan untuk TPA, dan emisi lingkungan. Akan tetapi, skenario ini mensyaratkan adanya kebutuhan fasilitas penanganan sampah di sumber yang lebih besar.

Dari berbagai penelitian di atas, diketahui bahwa pendekatan sistem dinamik dapat digunakan dalam penyusunan berbagai strategi kebijakan pengelolaan sampah oleh pemerintah. Dengan menggunakan pendekatan sistem dinamik, para pembuat kebijakan dapat mengetahui faktor-faktor yang saling memengaruhi dalam sistem pengelolaan sampah; memproyeksi atau memprediksi kondisi pengelolaan sampah di masa mendatang, termasuk dampak dari berbagai kebijakan pengelolaan sampah sebelum diterapkan; dan menyiapkan skenario kebijakan yang paling efektif untuk menangani permasalahan dalam pengelolaan sampah. Adapun strategi kebijakan yang dapat dilakukan pemerintah sebagai hasil dari pemanfaatan sistem dinamik antara lain melakukan prediksi kapasitas maksimal TPA agar pemerintah dapat merencanakan langkah-langkah antisipatif untuk mencegah masalah yang timbul akibat penuhnya kapasitas TPA; melakukan pengelolaan sampah organik agar sampah yang masuk ke TPA dapat berkurang; mengoptimalkan layanan pengelolaan sampah agar sampah yang dihasilkan masyarakat dapat dikelola dengan baik dan tidak mencemari lingkungan; melakukan perencanaan sistem pengangkutan sampah agar anggaran pengelolaan sampah dapat lebih efisien; dan mengupayakan sistem pengelolaan sampah perkotaan yang berkelanjutan.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Model sistem dinamik merupakan pilihan yang tepat dalam merancang skenario alternatif untuk pengelolaan sampah di berbagai daerah. Berbagai penelitian sebelumnya yang menggunakan metode sistem dinamik dalam menyusun strategi atau skenario pengelolaan sampah dapat dijadikan sebagai referensi bagi pemerintah dalam menyusun atau merancang kebijakan pengelolaan sampah di perkotaan agar lebih optimal, mengurangi beban lingkungan, serta mendukung tercapainya target pengelolaan sampah yang berkelanjutan di masa depan. Model sistem dinamik mampu memetakan hubungan kompleks antar variabel dalam sistem pengelolaan sampah, seperti pertumbuhan penduduk, produksi sampah, kapasitas pengolahan sampah, dampak lingkungan, dan lain-lain. Selain itu, model sistem dinamik dapat

memproyeksi kondisi pengelolaan sampah di masa mendatang dan menyiapkan skenario kebijakan yang paling efektif. Melalui simulasi berbagai skenario kebijakan, model sistem dinamik dapat memberikan wawasan tentang dampak dari setiap skenario, baik dalam hal efisiensi teknis, biaya operasional, maupun pengurangan timbulan sampah di TPA. Dalam menerapkan skenario kebijakan, perlu juga adanya kolaborasi antara pemerintah, masyarakat, dan *stakeholder* dalam mengoptimalkan program pengelolaan sampah.

DAFTAR REFERENSI

- Barlas, Y. (1989). Multiple tests for validation of system dynamics type of simulation models. *European Journal of Operational Research*, 42(1), 59–87. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(89\)90059-3](https://doi.org/10.1016/0377-2217(89)90059-3)
- Chaerul, M., & Artika, I. (2021). Aplikasi model sistem dinamik untuk evaluasi skenario pengelolaan sampah di wilayah pelayanan tempat pengolahan dan pemrosesan akhir sampah (TPPAS) Nambo. *Jurnal Permukiman*, 16(02), 101–115.
- Damanhuri, E., & Padmi, T. (2010). *Pengelolaan sampah terpadu*. ITB Press.
- Forrester, J. W. (1999). *System dynamics: The foundation under system thinking* (MA 02139). Sloan School of Management MIT.
- Gelbert, M., Prihanto, D., & Suprihatin, A. (1996). *Buku panduan pendidikan lingkungan hidup*. PPPGT/VEDC.
- Habibah, E., Novianti, F., & Saputra, H. (2020). Analisis terhadap faktor yang berpengaruh terhadap penerapan kebijakan pengelolaan sampah di Yogyakarta menggunakan pemodelan sistem dinamis. *Jurnal Analisa Sosiologi*, 9, 124–136. <https://doi.org/10.20961/jas.v9i0.39809>
- Hariani, & Suprajaka. (2017). Pemodelan sistem dinamis pengolahan sampah secara berkelanjutan di Kelurahan Duri Kepa Jakarta Barat. *Jurnal Planesa*, 8(November), 73–81.
- Kementerian LHK. (2024). *Capaian kinerja pengelolaan sampah Indonesia*. Kemenlhk. <https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/>
- Rusvinasari, D., & Risnanto, A. S. (2024). Rancangan prediksi volume sampah TPA Kota Semarang dengan pendekatan sistem dinamik. *Journal of Data Science Theory and Application*, 3(1), 14–22. <http://jurnal.universitaspurabangsa.ac.id/index.php/ijasta>
- Solo, A. A. M., Costa, M. Da, & Manulangga, O. G. L. (2024). Pemodelan sistem dinamis pengolahan sampah organik di Kelurahan Oesapa Kota Kupang. *Magnetic: Research Journal of Physics and It's Application*, 4(2), 367–375.

- Surjandari, I., Hidayatno, A., & Supriatna, A. (2009). Model dinamis pengelolaan sampah untuk mengurangi beban penumpukan. *Jurnal Teknik Industri*, 11(2), 134–147. <https://doi.org/10.9744/jti.11.2.134-147>
- Suryani, E., Hendrawan, R. A., & Rahmawati, U. E. (2021). Implementasi model simulasi sistem dinamik dalam industri jagung. Deepublish.
- Zalukhu, S. A., & Mirwan, M. (2018). Analisis model dinamik dalam pengangkutan sampah di Kota Bangkalan. *Jurnal Envirotek*, 10(1), 28–36. <https://doi.org/10.33005/envirotek.v10i1.1165>