



Model Sistem Dinamik TPS 3R dalam Mengurangi Volume Sampah pada TPS di Desa Durung Bedug, Kecamatan Candi, Kabupaten Sidoarjo

Annur Rahman^{1*}, Listin Fitrianah²

¹⁻²Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Nahdlatul Ulama, Indonesia

Email: rahmanannur73@gmail.com¹, listin_fitri.tkl@unusida.id²

*Penulis Korespondensi: rahmanannur73@gmail.com

Abstract. *A system dynamics approach can map complex cause-and-effect relationships, feedback loops, and time delays in waste management systems. Rural waste issues, such as those in Durung Bedug Village, demand integrated strategies to prevent overflow at Temporary Disposal Sites (TPS) and reduce residual waste sent to the Jabon Landfill. This study aims to develop a dynamic model of the TPS 3R system in Durung Bedug Village to analyze its behavior and formulate optimal strategies for reducing waste volume. Key variables analyzed include waste generation rates, infrastructure capacity, community sorting participation, and 3R processing effectiveness. Model simulations were conducted for 20 years (2025–2044) using STELLA software. The results show that the Combined TPS 3R Scenario (2.45% mechanical sorting and 5% biological composting) is the most effective strategy, achieving a cumulative reduction efficiency of 7.45% per year. This scenario increases upstream processed waste from 86,286 kg (2025) to 104,538 kg (2044) and lowers residual waste to Jabon Landfill to 1,300,550 kg by 2044, compared to Business as Usual (1,370,804 kg). These findings offer strategic recommendations for village authorities to sustainably optimize TPS 3R operations.*

Keywords: 3R TPS; Environmental Sustainability; Recycling; System Dynamics; Waste Management.

Abstrak. Pendekatan sistem dinamik dapat memetakan hubungan sebab-akibat yang kompleks, siklus umpan balik (*feedback loops*), dan keterlambatan waktu dalam sistem persampahan. Persoalan sampah di perdesaan seperti Desa Durung Bedug menuntut strategi terintegrasi untuk mencegah penumpukan di TPS dan mengurangi beban residu ke TPA Jabon. Penelitian ini bertujuan mengembangkan model dinamik sistem TPS 3R di Desa Durung Bedug guna menggambarkan perilaku sistem dan merumuskan strategi optimal pengurangan volume sampah. Variabel utama mencakup laju timbunan sampah, kapasitas infrastruktur, tingkat pemilahan masyarakat, dan efektivitas pengolahan 3R. Simulasi dijalankan untuk periode 20 tahun (2025–2044) menggunakan perangkat lunak STELLA. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Skenario Kombinasi TPS 3R (pemilahan mekanis 2,45% dan pengomposan 5%) menjadi strategi paling efektif dengan efisiensi reduksi kumulatif 7,45% per tahun. Skenario ini meningkatkan volume sampah terolah di hulu dari 86.286 kg (2025) menjadi 104.538 kg (2044), serta menekan beban residu ke TPA Jabon hingga 1.300.550 kg pada tahun 2044 dibanding skenario *Business as Usual* (1.370.804 kg). Temuan ini memberikan rekomendasi strategis bagi pemerintah desa untuk mengoptimalkan operasional TPS 3R secara berkelanjutan.

Kata Kunci: Daur Ulang; Keberlanjutan Lingkungan; Pengelolaan Sampah; Sistem Dinamik; TPS 3R.

1. LATAR BELAKANG

Persoalan sampah masih menjadi salah satu tantangan lingkungan yang dihadapi oleh berbagai negara di dunia. Peningkatan jumlah penduduk, pertumbuhan ekonomi, serta perubahan pola konsumsi masyarakat menyebabkan volume timbunan sampah terus mengalami peningkatan. Fenomena ini menunjukkan adanya hubungan erat antara perkembangan ekonomi dengan peningkatan produksi limbah, terutama di negara-negara berkembang yang mengalami perubahan pola konsumsi masyarakat secara signifikan. Aktivitas masyarakat dalam sektor rumah tangga, perdagangan, maupun industri secara konsisten menghasilkan limbah yang apabila tidak dikelola dengan baik dapat memberikan tekanan besar terhadap lingkungan. Menurut Aji et al., (2025), tingginya volume sampah yang tidak melalui proses pengolahan

menyebabkan sebagian besar limbah berakhir di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA), sehingga memicu berbagai permasalahan lingkungan dan kesehatan masyarakat (Aqilla et al., 2026).

Data Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan menunjukkan bahwa produksi sampah nasional mengalami peningkatan yang cukup signifikan. Pada tahun 2020, jumlah timbulan sampah Indonesia mencapai 67,8 juta ton dengan rata-rata kontribusi setiap individu sekitar 0,68 kg sampah per hari. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa sistem pengelolaan sampah masih menghadapi tantangan besar, terutama dalam aspek pengurangan sampah sejak dari sumbernya. Rendahnya kesadaran masyarakat dalam melakukan pemilahan sampah menjadi salah satu faktor yang menyebabkan tingginya beban pengelolaan pada tahap akhir. Apabila pola konsumsi dan pembuangan sampah tidak diikuti dengan sistem pengelolaan yang efektif, maka peningkatan volume sampah akan terus memberikan dampak negatif terhadap kualitas lingkungan (Wahyudi et al., 2026; Izlaini et al., 2026).

Permasalahan sampah di Indonesia tidak hanya terjadi pada kawasan perkotaan, tetapi juga mulai menjadi persoalan serius di wilayah perdesaan yang mengalami perkembangan pembangunan. Salah satu wilayah yang menghadapi tantangan tersebut adalah Desa Durung Bedug. Sebagai kawasan perdesaan yang mengalami pertumbuhan aktivitas masyarakat, desa ini menghadapi peningkatan timbulan sampah yang membutuhkan sistem pengelolaan lebih efektif. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa pengelolaan sampah tidak cukup hanya mengandalkan proses pengangkutan menuju TPA, tetapi perlu dilakukan melalui strategi pengurangan dan pengolahan sejak tingkat desa. Menurut Arya Juliansyah & Tarlani Tarlani, (2024), pengelolaan sampah berbasis wilayah membutuhkan pendekatan yang mampu mengintegrasikan aspek teknis, sosial, serta kelembagaan agar sistem persampahan dapat berjalan secara berkelanjutan (Chrismanta et al., 2026;)

Besarnya volume sampah yang langsung dibuang ke TPA tanpa melalui proses pemilahan dan pengolahan menjadi tantangan utama dalam pengelolaan lingkungan. Sistem pembuangan yang masih berorientasi pada pendekatan akhir (*end of pipe*) menyebabkan meningkatnya tekanan terhadap kapasitas TPA. Sistem pengelolaan sampah yang tidak memberikan perhatian terhadap aspek pengurangan dan pemanfaatan kembali dapat memperbesar risiko pencemaran lingkungan. Selain itu, tumpukan sampah yang tidak segera dikurangi volumenya dapat menghasilkan air lindi yang berpotensi mencemari tanah dan sumber air masyarakat. Kisworo et al., (2024) menegaskan bahwa pengelolaan sampah yang tidak optimal dapat memberikan dampak terhadap keberlanjutan lingkungan sehingga diperlukan sistem pengelolaan yang lebih terintegrasi.

Salah satu pendekatan yang dapat diterapkan untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah konsep *Reduce, Reuse, Recycle* (3R) melalui pengembangan Tempat Pengolahan Sampah dengan prinsip 3R (TPS 3R). Berdasarkan Permen PU No. 03/PRT/M/2013, TPS 3R tidak hanya berfungsi sebagai tempat penampungan sementara (Purwanti et al., 2026), tetapi juga sebagai fasilitas pengurangan dan pengolahan sampah melalui kegiatan pemilahan, penggunaan kembali, serta daur ulang. Abdi et al., (2024) menjelaskan bahwa operasional TPS 3R memiliki peran penting dalam mengoptimalkan pengelolaan sampah melalui proses pemilahan dan pengolahan sebelum sampah dikirim ke tahap akhir (Zahara et al., 2025; Bere et al., 2025). Dengan demikian, TPS 3R menjadi salah satu strategi yang dapat mengurangi jumlah residu sampah sekaligus mengurangi ketergantungan terhadap kapasitas TPA (Azalia et al., 2026; Ananditya et al., 2026).

Keberhasilan penerapan TPS 3R tidak hanya bergantung pada ketersediaan infrastruktur, tetapi juga dipengaruhi oleh kompleksitas hubungan antarvariabel dalam sistem persampahan. Variabel seperti jumlah penduduk, timbulan sampah, kapasitas pengolahan, perilaku masyarakat, serta mekanisme pengangkutan memiliki hubungan yang saling memengaruhi (Karimuna et al., 2026; Kurniati et al., 2026). Oleh karena itu, diperlukan pendekatan yang mampu menggambarkan dinamika hubungan antarvariabel tersebut secara menyeluruh. Pendekatan sistem dinamik dapat digunakan untuk memprediksi timbulan sampah perkotaan dengan mempertimbangkan faktor pertumbuhan wilayah dan perubahan pola aktivitas masyarakat. Pendekatan ini memungkinkan proses pengambilan keputusan dilakukan berdasarkan pemahaman terhadap perilaku sistem dalam jangka panjang (Risanto et al., 2026).

Pendekatan sistem dinamik menjadi relevan digunakan dalam penelitian pengelolaan sampah karena mampu menjelaskan hubungan sebab-akibat, mekanisme umpan balik (*feedback loop*), serta keterlambatan waktu (*time delay*) dalam suatu sistem. Sterman (2000) menjelaskan bahwa sistem dinamik dapat digunakan untuk memahami permasalahan kompleks yang memiliki banyak variabel yang saling berinteraksi. Maione et al., (2019) juga menunjukkan bahwa pemodelan sistem dapat membantu dalam melakukan analisis dan perencanaan terhadap sistem pengelolaan limbah yang kompleks. Dengan pendekatan tersebut, perubahan suatu variabel dalam sistem persampahan dapat dianalisis sehingga menghasilkan strategi pengelolaan yang lebih efektif.

Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa pendekatan sistem dinamik telah banyak digunakan dalam kajian pengelolaan sampah. Penggunaan model sistem dinamik dilakukan untuk memperkirakan perkembangan timbulan sampah pada wilayah perkotaan yang mengalami pertumbuhan pesat. Selain itu, Julianto et al., (2023) menunjukkan bahwa

pengelolaan sampah membutuhkan pendekatan sistem yang mampu mempertimbangkan berbagai aspek yang saling berkaitan. Kemudian sistem dinamik dapat menjadi instrumen analisis dalam mengevaluasi kebijakan pengelolaan sampah karena mampu menggambarkan perubahan sistem secara berkelanjutan.

Pertumbuhan penduduk di Kabupaten Sidoarjo, khususnya Kecamatan Candi, memberikan dampak terhadap peningkatan jumlah timbulan sampah rumah tangga. Kondisi tersebut menuntut adanya penguatan sistem pengelolaan sampah di TPS Desa Durung Bedug agar jumlah sampah yang dikirim menuju TPA Jabon dapat diminimalisir. Walaupun fasilitas TPS telah tersedia, optimalisasi proses pemilahan dan pengurangan sampah masih menjadi faktor penting dalam menjaga kapasitas pengelolaan. Siti Zahra Zahira Sugiantara et al. (2024) menyatakan bahwa pengembangan sistem pengelolaan sampah berbasis 3R diperlukan untuk menciptakan pengelolaan yang lebih efektif dan berkelanjutan. Oleh karena itu, transformasi TPS menjadi sistem TPS 3R berbasis model dinamik menjadi langkah strategis untuk meningkatkan efektivitas pengelolaan sampah di tingkat desa (Saripudin et al., 2026).

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menyusun model dinamik sistem TPS 3R di Desa Durung Bedug sebagai instrumen pendukung pengambilan keputusan dan evaluasi kebijakan pengelolaan sampah. Model yang dikembangkan diharapkan mampu mengidentifikasi variabel utama yang memengaruhi sistem persampahan, menganalisis hubungan antarvariabel, serta menghasilkan alternatif strategi yang dapat digunakan untuk mengurangi beban sampah menuju TPA secara berkelanjutan.

2. METODE PENELITIAN

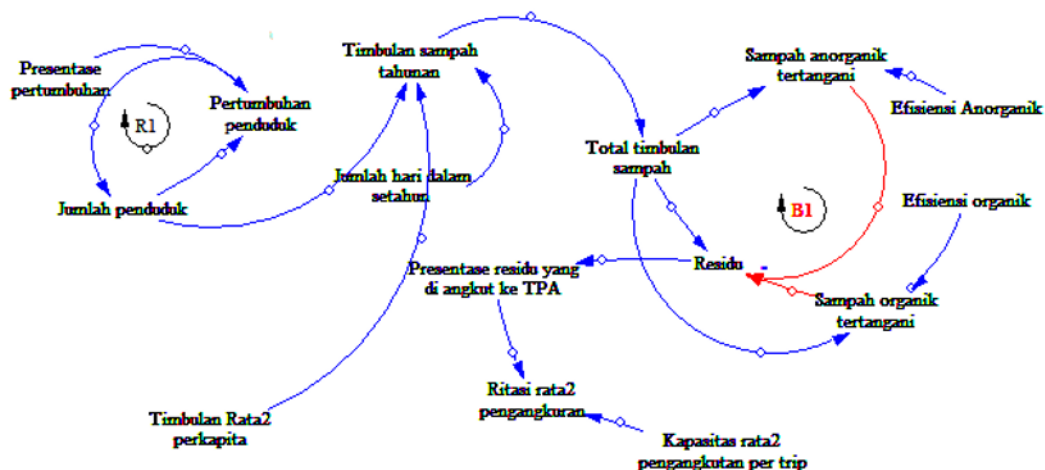
Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode pemodelan sistem dinamik untuk menganalisis pengelolaan sampah pada Tempat Pengolahan Sampah *Reduce, Reuse, dan Recycle* (TPS 3R) di Desa Durung Bedug, Kecamatan Candi, Kabupaten Sidoarjo. Pendekatan ini dipilih karena mampu menggambarkan hubungan sebab-akibat, mekanisme umpan balik (*feedback*), serta perubahan perilaku sistem pengelolaan sampah dalam jangka waktu tertentu melalui proses simulasi.

Pengumpulan data dilakukan melalui data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui observasi lapangan dan wawancara dengan pengelola TPS, perangkat desa, serta petugas pengangkutan sampah untuk memperoleh informasi mengenai kondisi operasional TPS 3R, volume timbulan sampah, proses pemilahan, kapasitas fasilitas, dan frekuensi pengangkutan. Sementara itu, data sekunder diperoleh dari dokumen instansi terkait,

Badan Pusat Statistik (BPS), Dinas Lingkungan Hidup, serta berbagai literatur ilmiah yang berkaitan dengan pengelolaan sampah dan pemodelan sistem dinamik.

Variabel yang digunakan dalam penelitian meliputi jumlah penduduk, laju pertumbuhan penduduk, timbulan sampah per kapita, total timbulan sampah, kapasitas TPS, efisiensi pengolahan sampah organik dan anorganik, volume residu, serta kapasitas pengangkutan menuju Tempat Pemrosesan Akhir (TPA). Variabel-variabel tersebut disusun ke dalam model sistem dinamik untuk menggambarkan interaksi antarkomponen dalam sistem pengelolaan sampah (Lorena et al., 2021).

Tahapan penelitian diawali dengan identifikasi permasalahan, pengumpulan data, penyusunan *Causal Loop Diagram* (CLD), kemudian dilanjutkan dengan pengembangan *Stock Flow Diagram* (SFD) menggunakan perangkat lunak STELLA. Model yang telah dibangun selanjutnya divalidasi melalui pengujian struktur dan perilaku model untuk memastikan kesesuaiannya dengan kondisi nyata. Setelah model dinyatakan valid, dilakukan simulasi berbagai skenario pengelolaan TPS 3R guna mengevaluasi pengaruh peningkatan kapasitas pengolahan, efektivitas pemilahan sampah, serta frekuensi pengangkutan terhadap penurunan volume sampah yang dikirim ke TPA. Hasil simulasi kemudian dianalisis secara deskriptif sebagai dasar dalam merumuskan strategi optimal pengelolaan TPS 3R di Desa Durung Bedug (Hanif et al., 2024). *Causal Loop Diagram* Pengelolaan Sampah TPS3R Durung Bedug pada Gambar 1.



Gambar 1. *Causal Loop Diagram*.

Keterangan:

- Garis Biru (+) Hubungan positif
- Garis Merah (-) Hubungan negatif
- Reinforcing Loop* (R1) Pertumbuhan
- Balancing Loop* (B1) Pengendali Residu

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Sistem Pengelolaan Sampah TPS Desa Durung Bedug

TPS Desa Durung Bedug merupakan fasilitas pengelolaan sampah yang berfungsi sebagai tempat penampungan sementara sekaligus pusat pengelolaan sampah domestik yang dihasilkan oleh masyarakat Desa Durung Bedug, Kecamatan Candi, Kabupaten Sidoarjo. Keberadaan TPS memiliki peran penting dalam mendukung sistem pengelolaan sampah di tingkat desa, terutama dalam proses pengumpulan, pemilahan, dan pengurangan volume sampah sebelum residu diangkut menuju Tempat Pemrosesan Akhir (TPA). Oleh karena itu, kondisi operasional TPS menjadi salah satu faktor yang menentukan efektivitas pengelolaan sampah secara keseluruhan.

Berdasarkan hasil pengumpulan data, jumlah penduduk Desa Durung Bedug pada tahun 2025 tercatat sebanyak 6.621 jiwa dengan laju pertumbuhan penduduk sebesar 1,015% per tahun. Pertumbuhan penduduk tersebut berimplikasi langsung terhadap peningkatan aktivitas rumah tangga yang menghasilkan timbulan sampah setiap harinya. Mengacu pada ketentuan Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Sidoarjo, timbulan sampah per kapita ditetapkan sebesar 0,48 kg/orang/hari. Dengan jumlah penduduk yang terus meningkat, potensi timbulan sampah diproyeksikan akan mengalami peningkatan dari tahun ke tahun sehingga diperlukan sistem pengelolaan yang mampu mengantisipasi pertambahan volume sampah tersebut.

Hasil observasi lapangan menunjukkan bahwa kondisi eksisting TPS menerima rata-rata sampah sebesar $\pm 4,5$ ton per hari dengan kapasitas tampung fasilitas mencapai 205,2 m³. Dalam proses operasionalnya, kegiatan pemilahan sampah dilakukan menggunakan mesin *conveyor* untuk memisahkan sampah yang masih memiliki nilai ekonomi dari residu yang akan dibuang ke TPA. Sistem pengangkutan sampah didukung oleh dua unit tosa, lima unit gerobak, serta satu unit truk sampah yang digunakan untuk mengangkut residu hasil pengolahan. Kombinasi fasilitas tersebut memungkinkan proses pengelolaan sampah berlangsung secara berkelanjutan, meskipun kapasitasnya masih dipengaruhi oleh peningkatan timbulan sampah dan efektivitas proses pemilahan yang dilakukan di TPS.

Karakteristik operasional tersebut menunjukkan bahwa kinerja TPS tidak hanya dipengaruhi oleh kapasitas fasilitas yang tersedia, tetapi juga oleh pertumbuhan jumlah penduduk, besarnya timbulan sampah harian, serta efektivitas proses pemilahan dan pengangkutan. Oleh karena itu, informasi mengenai kondisi eksisting TPS menjadi dasar dalam penyusunan model sistem dinamik yang digunakan untuk mensimulasikan berbagai skenario

pengelolaan sampah serta mengevaluasi strategi yang paling efektif dalam mengurangi volume residu yang dikirim ke TPA.

Tabel 1. Karakteristik Operasional TPS Desa Durung Bedug.

Parameter	Nilai
Jumlah penduduk	6.621 jiwa
Laju pertumbuhan penduduk	1,015% per tahun
Timbulan sampah per kapita	0,48 kg/orang/hari
Sampah masuk TPS	±4,5 ton/hari
Sampah anorganik bernilai ekonomi	±500 kg/minggu
Kapasitas TPS	205,2 m ³
Sistem pemilahan	Mesin conveyor
Armada pengangkut	2 tosa, 5 gerobak, 1 truk

Sumber: Hasil Pengolahan Data Penelitian, 2025.

Data ritasi pengangkutan menunjukkan bahwa selama periode pengamatan volume residu yang dikirim ke TPA mengalami fluktuasi. Pada tahun 2025 total residu yang dikirim ke TPA mencapai 1.131.472 kg dengan frekuensi pengangkutan sebanyak 296 ritase. Kondisi tersebut menunjukkan adanya kecenderungan peningkatan timbulan sampah yang berpotensi meningkatkan beban pengelolaan TPS apabila tidak diimbangi dengan peningkatan kapasitas pengolahan.

Analisis Klaster Timbulan Sampah

Analisis klaster dilakukan menggunakan metode *Hierarchical Cluster Analysis* dengan algoritma Ward dan jarak Euclidean. Analisis ini bertujuan mengidentifikasi pola timbulan residu berdasarkan berat residu bulanan dan frekuensi pengangkutan menuju TPA. Hasil analisis menunjukkan adanya tiga kelompok karakteristik timbulan sampah yang berbeda.

Tabel 2. Hasil Analisis Klaster Timbulan Sampah.

Klaster	Karakteristik	Interpretasi
<i>Low Generation</i>	Residu < 80.000 kg; 19 ritase/bulan	Timbulan sampah rendah
<i>Medium Generation</i>	Residu 84.000–95.000 kg; 20–25 ritase/bulan	Kondisi operasional normal
<i>High Generation</i>	Residu > 99.000 kg; 26–27 ritase/bulan	Periode puncak timbulan sampah

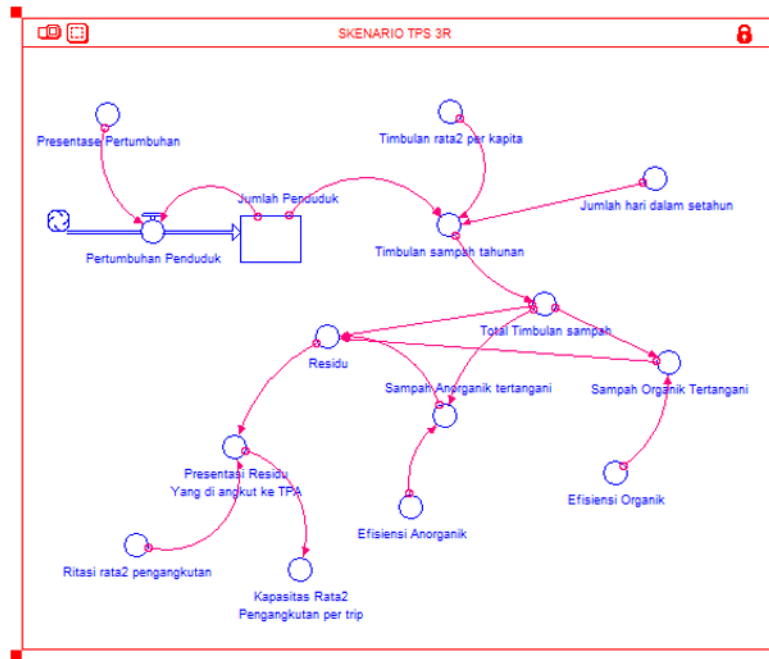
Sumber: Hasil analisis data 2025.

Hasil analisis menunjukkan bahwa sistem pengangkutan sampah tidak dapat dirancang berdasarkan rata-rata tahunan semata. Pada periode tertentu terjadi lonjakan timbulan sampah yang menyebabkan kebutuhan ritasi meningkat secara signifikan. Oleh karena itu, strategi pengelolaan sampah harus mampu mengantisipasi kondisi puncak agar tidak terjadi penumpukan sampah di TPS.

Hasil Simulasi Model Sistem Dinamik

Model sistem dinamik dikembangkan menggunakan perangkat lunak STELLA dengan dua submodel utama, yaitu submodel pertumbuhan penduduk dan submodel timbulan sampah.

Submodel pertumbuhan penduduk digunakan untuk memproyeksikan perkembangan jumlah penduduk hingga tahun 2044, sedangkan submodel timbulan sampah digunakan untuk memperkirakan peningkatan volume sampah berdasarkan pertumbuhan penduduk dan timbulan sampah per kapita. Model sistem dinamik yang digunakan dalam simulasi, Hasil Skenario (TPS 3R) ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Hasil Skenario (TPS 3R).

Hasil simulasi menunjukkan bahwa peningkatan jumlah penduduk akan berdampak langsung terhadap peningkatan timbulan sampah sehingga diperlukan strategi pengelolaan yang mampu mengurangi residu yang dikirim ke TPA.

Untuk mengevaluasi efektivitas pengelolaan sampah, dilakukan simulasi menggunakan tiga skenario, yaitu *Business as Usual* (BAU), peningkatan kapasitas pengomposan (optimis), dan skenario kombinasi TPS 3R. Masing-masing skenario memiliki tingkat efisiensi reduksi yang berbeda sehingga menghasilkan volume residu yang berbeda pula.

Tabel 3. Perbandingan Hasil Simulasi Skenario.

Skenario	Efisiensi Reduksi	Residu Tahun 2025 (kg)
<i>Business as Usual</i> (BAU)	2,45%	1.131.472
Optimis (Pengomposan)	5,00%	1.101.782
Kombinasi TPS 3R	7,45%	1.073.484

Sumber: Hasil simulasi STELLA, 2026.

Berdasarkan hasil simulasi, skenario *Business as Usual* menghasilkan volume residu tertinggi karena sistem pengelolaan hanya mengandalkan pemilahan sampah anorganik melalui mesin conveyor. Kondisi ini menyebabkan sebagian besar sampah tetap berakhir di TPA sehingga volume residu terus meningkat seiring bertambahnya jumlah penduduk.

Skenario optimis menunjukkan perbaikan melalui penerapan fasilitas pengomposan yang mampu mereduksi sampah organik sebesar 5%. Meskipun demikian, pengurangan residu yang dihasilkan masih relatif terbatas karena belum mampu mengatasi sampah anorganik secara optimal.

Skenario kombinasi TPS 3R memberikan hasil terbaik karena mengintegrasikan pengolahan sampah organik dan anorganik secara bersamaan. Efisiensi reduksi meningkat menjadi 7,45% sehingga volume residu yang dikirim ke TPA menjadi yang paling rendah dibandingkan skenario lainnya. Hasil ini menunjukkan bahwa pendekatan pengelolaan yang terintegrasi lebih efektif dalam mengurangi beban TPA dan meningkatkan kinerja TPS secara berkelanjutan.

Verifikasi Model

Verifikasi model dilakukan untuk memastikan bahwa model sistem dinamik yang dibangun telah bebas dari kesalahan logika matematis dan memiliki struktur aliran yang konsisten sebelum digunakan dalam simulasi. Verifikasi dilakukan melalui dua tahapan, yaitu pemeriksaan logika persamaan (*equation rule check*) dan pemeriksaan keseimbangan massa (*mass balance verification*).

Pada tahap *equation rule check*, dilakukan *Unit Check* menggunakan perangkat lunak STELLA. Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh variabel dalam model memiliki satuan yang konsisten dan tidak ditemukan *unit mismatch* antara jumlah penduduk (jiwa), timbunan sampah per kapita (kg/hari), serta konversinya ke dalam laju aliran tahunan.

Selanjutnya dilakukan *mass balance verification* pada tahun dasar (2025) dengan membandingkan total timbunan sampah yang masuk ke sistem dengan total sampah organik, sampah anorganik, dan residu yang dihasilkan. Hasil verifikasi menunjukkan bahwa total timbunan sampah sebesar 1.159.771 kg sama dengan jumlah seluruh komponen keluaran model, sehingga memenuhi prinsip keseimbangan massa (*mass balance*). Dengan demikian, model dinyatakan lolos tahap verifikasi logika, bebas dari kesalahan akumulasi (*compounding errors*), dan layak digunakan untuk simulasi skenario kebijakan pengelolaan sampah selama 20 tahun.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan model sistem dinamik pengelolaan sampah TPS 3R di Desa Durung Bedug, Kecamatan Candi, Kabupaten Sidoarjo menggunakan perangkat lunak STELLA. Model yang dibangun mampu merepresentasikan hubungan antara

pertumbuhan penduduk, timbulan sampah, kapasitas pengelolaan TPS, dan volume residu yang dikirim ke Tempat Pemrosesan Akhir (TPA). Hasil analisis menunjukkan bahwa peningkatan jumlah penduduk berpengaruh terhadap meningkatnya timbulan sampah sehingga diperlukan strategi pengelolaan yang mampu mengurangi residu secara efektif sebelum diangkut ke TPA.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa skenario *Business as Usual* (BAU) belum mampu mengendalikan peningkatan volume residu karena sistem pengelolaan hanya mengandalkan pemilahan sampah anorganik melalui mesin *conveyor*. Penerapan skenario peningkatan kapasitas pengomposan memberikan perbaikan terhadap pengurangan residu, namun efektivitasnya masih terbatas karena hanya berfokus pada pengolahan sampah organik. Sementara itu, skenario kombinasi TPS 3R yang mengintegrasikan pemilahan sampah anorganik dan pengolahan sampah organik memberikan hasil terbaik dengan efisiensi reduksi sebesar 7,45%. Skenario ini menghasilkan volume residu paling rendah dibandingkan skenario lainnya, yaitu sebesar 1.073.484 kg pada tahun 2025 dan 1.300.550 kg pada tahun 2044, sehingga menjadi alternatif kebijakan yang paling efektif dalam mengurangi beban sampah menuju TPA.

Selain menghasilkan proyeksi pengelolaan sampah, model yang dikembangkan juga telah melalui proses verifikasi struktur, kesesuaian persamaan, dan keseimbangan massa sehingga dinyatakan valid untuk digunakan sebagai alat simulasi dalam perencanaan pengelolaan sampah. Oleh karena itu, penerapan sistem pengelolaan sampah yang mengintegrasikan pemilahan dan pengomposan direkomendasikan sebagai strategi jangka panjang untuk meningkatkan kinerja TPS 3R, mengurangi volume residu yang dibuang ke TPA, serta mendukung pengelolaan sampah yang lebih efektif dan berkelanjutan di Desa Durung Bedug.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdi, A. P., Syarif, E., Nadjmi, N., & Abdi, A. P. (2024). Operasional Pengelolaan Tempat Penampungan Sampah Sementara Reduce, Reuse, dan Recycle (TPS-3R) di Kelurahan Panambungan. *SMART: Seminar on Architecture Research and Technology*, 8(1), 107–112. <https://doi.org/10.21460/smart.v8i1.384>
- Aji, S. S., Studi, P., Studi, M., & Pascasarjana, S. (2025). Model Sistem Dinamik Pengelolaan Sampah Dengan Fasilitas TPS 3R di Kelurahan Benda Baru Kota Tangerang Selatan. 13(1), 276–286.
- Ananditya, F. N., et al. (2026). Evaluasi efektivitas pengelolaan sampah TPS 3R melalui pemilahan dari sumber. *Jurnal Riset Rumpun Ilmu Teknik*, 5(2). <https://doi.org/10.55606/jurritek.v5i2.8709>

- Aqilla, et al. (2026). Pengaruh pH dan konsentrasi Pb^{2+} terhadap kapasitas adsorpsi bioadsorben daun rami dalam air limbah artifisial. *Jurnal Wilayah, Kota dan Lingkungan Berkelanjutan*, 5(1). <https://doi.org/10.58169/jwikal.v5i1.1117>
- Arya juliansyah, & Tarlani Tarlani. (2024). Evaluasi Kesesuaian Lokasi Tempat Penampungan Sampah Sementara di Kecamatan Subang. *Jurnal Riset Perencanaan Wilayah Dan Kota*, 69–78. <https://doi.org/10.29313/jrpwk.v4i1.3653>
- Azalia, N., et al. (2026). Rekomendasi pengembangan TPS 3R Banjar Sugihan berdasarkan analisis kesediaan membayar masyarakat dan quality function deployment. *Jurnal Riset Rumpun Ilmu Teknik*, 5(2). <https://doi.org/10.55606/jurritek.v5i2.9260>
- Bere, D., et al. (2025). Pengaruh model pembelajaran kooperatif tipe think pair share (TPS) terhadap hasil belajar geografi siswa kelas X di SMA Swasta Sinar Pancasila Betun. *SOSIAL: Jurnal Ilmiah Pendidikan IPS*, 3(4). <https://doi.org/10.62383/sosial.v3i4.1353>
- Chrismanta, C. L., et al. (2026). Darurat sampah nasional di Indonesia: Analisis pengelolaan limbah dan dampaknya terhadap pencemaran lingkungan dalam perspektif Sustainable Development Goals. *Presidensial: Jurnal Hukum, Administrasi Negara, dan Kebijakan Publik*, 3(2). <https://doi.org/10.62383/presidensial.v3i2.1649>
- Hanif, M., Tri, R. B., Wibowo, J., & Shofa, M. J. (2024). Penerapan Model Sistem Dinamis Pada Sistem Pengelolaan Sampah Di TPAS Cilowong , Kota Serang Application of The Dynamic System Model In Waste Management In The Cilowong Landfills , Serang City. *Teknik Industri*, 09, 88–98. <https://doi.org/https://doi.org/10.32502/integrasi.v9i2.184>
- Izlaini, et al. (2026). Analisis alternatif kebijakan permasalahan sanitasi lingkungan akibat sampah di RT 15 Kelurahan Lawang Kidul Kota Palembang. *Jurnal Ilmu Administrasi Negara*, 23(1). <https://doi.org/10.59050/jian.v23i1.555>
- Julianto, D. D., Purwani, A., & Bouguern, S. (2023). Analysis of Location Determination for Temporary Waste Collection Points Using p-dispersion Method: An Application to Yogyakarta City, Indonesia. *Journal of Novel Engineering Science and Technology*, 2(02), 59–67. <https://doi.org/10.56741/jnest.v2i02.369>
- Karimuna, S. R., et al. (2026). Hubungan jarak rumah dari tempat penampungan sementara (TPS) di Kelurahan Anduonohu dengan gangguan bau yang dirasakan masyarakat sekitar. *Jurnal Ilmiah Kesehatan Masyarakat dan Sosial*, 4(2). <https://doi.org/10.59024/jikas.v4i2.1752>
- Kisworo, W., Suhardono, S., & Suryawan, I. W. K. (2024). Evaluating the Performance and Waste Reduction Strategies of Temporary Waste Disposal Site 3R Facilities in Sukoharjo: A Case Study of Anugrah Palur. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1414(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1414/1/012089>
- Kurniati, T., et al. (2026). Pengelolaan limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) di TPS PT. X pembangunan RSPTN Universitas X. *Jurnal Ilmiah Kesehatan Masyarakat dan Sosial*, 4(2). <https://doi.org/10.59024/jikas.v4i2.1625>
- Lorena, G. De, Chaves, D., & Siman, R. R. (2021). The use of system dynamics on urban solid waste management : a literature analysis. *ORIGINAL ARTICLE The*, 28(3), 1–18.
- Maione, C., Nelson, D. R., & Barbosa, R. M. (2019). Research on social data by means of cluster analysis. *Applied Computing and Informatics*, 15(2), 153–162. <https://doi.org/10.1016/j.aci.2018.02.003>

- Purwanti, S., et al. (2026). Upaya pendampingan awal menuju pembangunan TPS 3R melalui sosialisasi pemilahan sampah, pemasangan papan edukasi, dan penyediaan tempat sampah di Desa Gondang. *Jurnal Pengabdian Sosial dan Kemanusiaan*, 3(2). <https://doi.org/10.62383/aksinyata.v3i2.3148>
- Risanto, B., et al. (2026). Peran strategis konsultan pajak dalam pengambilan keputusan bisnis pada perusahaan berbasis teknologi: Studi literatur. *Ekonomi Keuangan Syariah dan Akuntansi Pajak*, 3(3). <https://doi.org/10.61132/eksap.v3i3.2403>
- Saripudin, U., et al. (2026). Peran TPS3R dalam pengelolaan sampah botol plastik di Kota Bogor: Studi kasus Tempat Pengolahan Sampah Reduce, Reuse, Recycle (TPS3R) Eco Techno Park Universitas IBN Khaldun Bogor. *Jurnal Wilayah, Kota dan Lingkungan Berkelanjutan*, 5(1). <https://doi.org/10.58169/jwikal.v5i1.1109>
- Siti Zahra Zahira Sugiantara, & Lely Syiddatul Akliyah. (2024). Studi Kelayakan Teknis Pengembangan Tempat Pengelolaan Sampah (TPS) 3R Desa Wantilan, Kabupaten Subang. *Bandung Conference Series: Urban & Regional Planning*, 4(3), 774–782. <https://doi.org/10.29313/bcsurp.v4i3.14225>
- Wahyudi, et al. (2026). Pengaruh beban kerja, komitmen organisasi dan kepuasan kerja terhadap turnover intention (Studi kasus pada guru SMA Budi Mulia di Kota Tangerang). *Jurnal Ekonomi dan Manajemen (JEKMA)*, 5(1). <https://doi.org/10.56127/jekma.v5i1.2563>
- Zahara, R., et al. (2025). Pendekatan kooperatif think pair share (TPS) dan investigasi kelompok dalam pembelajaran PAI: Inovasi pedagogis dalam penguatan nilai Islami dan kemandirian belajar. *Hikmah: Jurnal Studi Pendidikan Agama Islam*, 2(4). <https://doi.org/10.61132/hikmah.v2i4.1647>