

Model Awal Berbasis *System Dynamics* Untuk Pengelolaan Sampah Rumah Tangga Di Suatu Kota

Petrus Setya Murdapa¹, Vinsensius Widdy Tri Prasetyo^{2*}, Chatarina Dian Indrawati³,
Theresia Liris Windyaningrum⁴,

^{1,2,3,4} Program Studi Rekayasa Industri, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya
Email Correspondent*: vinsensiuswiddy@ukwms.ac.id

Abstract

Household waste management has become a serious challenge for many cities amid population growth and urbanization. Poorly managed waste has the potential to pollute the environment, burden landfills, and decrease the quality of life for communities. This challenge is exacerbated by the low level of waste sorting at the source and illegal dumping. This research develops a system dynamics-based model in the form of a Stock and Flow Diagram (SFD) to analyze the flow of household waste from source to final processing, encompassing community behavior, infrastructure, and intervention policies. The study evaluates two approaches: subsidies for waste processing facilities and strengthening law enforcement against illegal waste disposal. Although the results indicate that law enforcement is more effective in reducing illegal waste, neither approach has succeeded in significantly decreasing the amount of household waste. This shows that existing policies are insufficient to change community behavior. Therefore, a holistic and sustainable approach is needed, including community education, improved accessibility to facilities, and more effective law enforcement to reduce the impact of household waste.

Keywords: Waste Management, Household Waste, Illegal Waste Disposal, System Dynamics Model, Intervention Policies

Abstrak

Pengelolaan sampah rumah tangga menjadi tantangan serius bagi banyak kota di tengah pertumbuhan populasi dan urbanisasi. Sampah yang tidak terkelola berpotensi mencemari lingkungan, membebani TPA, dan menurunkan kualitas hidup masyarakat. Tantangan ini diperparah oleh rendahnya pemilahan sampah di sumber dan pembuangan sembarangan. Penelitian ini mengembangkan model berbasis system dynamics dalam bentuk SFD untuk menganalisis aliran sampah rumah tangga dari sumber hingga pengolahan akhir, mencakup perilaku masyarakat, infrastruktur, dan kebijakan intervensi. Penelitian mengevaluasi dua pendekatan: subsidi untuk fasilitas pengolahan dan penguatan penegakan hukum terhadap pembuangan sampah ilegal. Meskipun hasil menunjukkan bahwa penegakan hukum lebih efektif dalam menekan sampah ilegal, kedua pendekatan tidak berhasil menurunkan jumlah sampah rumah tangga secara signifikan. Ini menunjukkan bahwa kebijakan yang ada belum cukup untuk mengubah perilaku masyarakat. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan holistik dan berkelanjutan, termasuk edukasi masyarakat, peningkatan aksesibilitas fasilitas, dan penegakan hukum yang lebih efektif untuk mengurangi dampak sampah rumah tangga.

Kata Kunci: Pengelolaan Sampah, Sampah Rumah Tangga, Pembuangan Sampah Ilegal, Model System Dynamics, Kebijakan Intervensi

PENDAHULUAN

Sampah rumah tangga merupakan salah satu tantangan besar dalam pengelolaan sampah perkotaan. Timbulan sampah yang terus meningkat akibat pertumbuhan penduduk dan perubahan pola konsumsi menciptakan tekanan besar pada infrastruktur pengelolaan sampah, seperti tempat pembuangan akhir (TPA). Di beberapa kota besar di Indonesia, seperti Malang, Surabaya, dan Banda Aceh, rendahnya tingkat pemilahan sampah di sumber dan kebiasaan pembuangan sampah

sembarangan menjadi faktor utama yang memperburuk kondisi pengelolaan sampah (Adipraja & Islamiyah, 2016; Mulinai et al., 2020).

Masalah pengelolaan sampah ini tidak hanya berimplikasi pada lingkungan, seperti pencemaran tanah, air, dan udara, tetapi juga menurunkan kualitas hidup masyarakat. Pendekatan tradisional yang berfokus pada pengumpulan dan pembuangan akhir sering kali tidak memadai untuk mengatasi kompleksitas dinamika sistem ini. Oleh karena itu, pendekatan sistemik yang

memanfaatkan System Dynamics diperlukan untuk memahami dan memodelkan interaksi antara perilaku masyarakat, kebijakan, dan infrastruktur pengelolaan sampah.

Namun, penelitian yang memadukan aspek pemilahan sampah, perilaku masyarakat, dan kebijakan intervensi dalam satu kerangka kerja sistemik masih jarang dilakukan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk:

1. Bagaimana dinamika aliran sampah rumah tangga dari sumber hingga pembuangan akhir dapat dimodelkan secara logis menggunakan pendekatan *System Dynamics*?
2. Bagaimana pemilahan sampah di sumber, pembuangan sembarangan, dan proses pengolahan akhir dapat dimasukkan dalam kerangka model untuk mencerminkan interaksi dinamis sistem pengelolaan sampah?
3. Bagaimana validasi model dilakukan secara logis tanpa melibatkan data riil, sehingga dapat menjadi dasar untuk pengembangan model di masa depan?

METODE

Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan *System Dynamics* untuk mengembangkan model awal pengelolaan sampah rumah tangga. Fokus penelitian adalah pada penyusunan model awal yang dapat menggambarkan dinamika aliran sampah secara logis, sehingga belum melibatkan data riil.

Langkah Penelitian

Identifikasi Komponen Sistem:

1. Sumber Sampah: Rumah tangga.
2. Kategori Sampah: Organik, anorganik, bahan kimia berbahaya.
3. Aliran Sampah: Pengumpulan, pemilahan, pembuangan sembarangan, dan pengolahan akhir.

Pengembangan Model:

1. Model dibangun menggunakan perangkat lunak Vensim (Ventana, 2024).

2. Elemen model mencakup *stocks* (stok), *flows* (aliran), dan umpan balik dinamis.

Verifikasi Logis:

1. Validasi dilakukan dengan mengevaluasi koherensi alur logis model terhadap teori dan dinamika sistem yang diketahui.
2. Diagram *stock and flow* dianalisis untuk memastikan bahwa setiap elemen dan alur mencerminkan proses pengelolaan sampah secara akurat.

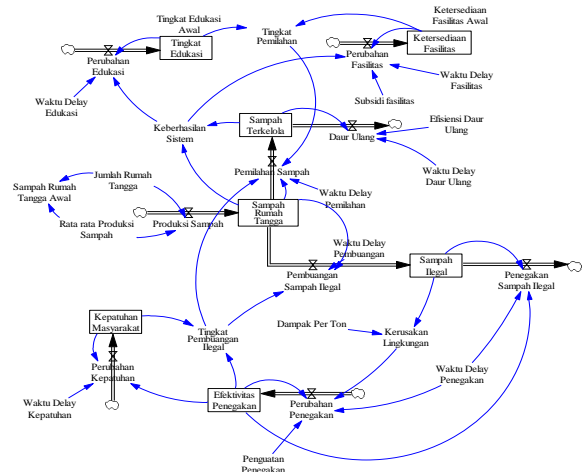
Struktur Model

1. **Stocks (Stok):** Sampah Rumah Tangga. Sampah di Pinggir Jalan. Sampah di TPA.
2. **Flows (Aliran):** Pengumpulan Sampah. Pembuangan Sembarangan di Pinggir Jalan. Pemilahan Sampah di Sumber.
3. **Feedback Loops:** Dampak edukasi masyarakat terhadap pemilahan sampah. Pengaruh jumlah sampah di pinggir jalan terhadap perilaku masyarakat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Model

Model dinyatakan dalam bentuk stock and flow diagram seperti terlihat pada Gambar 1.

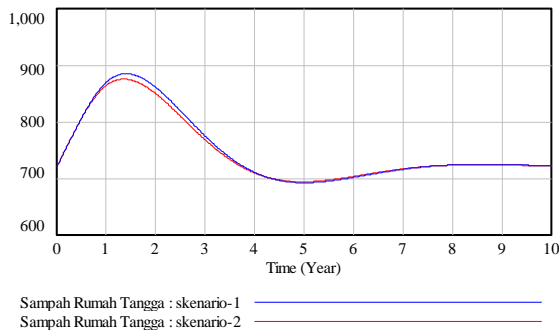


Gambar 1. Model dalam bentuk Stock and Flow Diagram

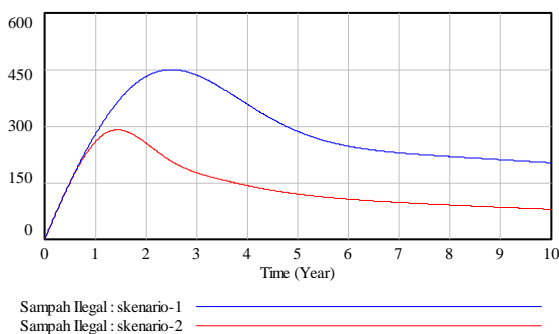
Analisis Skenario

Eksperimen akan dilakukan untuk melihat efektivitas dua pendekatan dalam mengurangi jumlah sampah ilegal di masyarakat: yaitu skenario-1 berupa subsidi untuk fasilitas pengolahan sampah, dan skenario-2 berupa penguatan penegakan hukum terhadap tindakan pembuangan sampah ilegal. Gambar 2 dan 3 memperlihatkan hasil yang menarik.

Kedua skenario tidak berhasil menekan jumlah sampah rumah tangga. Dapat dipahami karena tingkat kehidupan di era sekarang



Gambar 2. Kedua skenario tidak memberikan dampak pada jumlah sampah rumah tangga



Gambar 3. Kedua skenario memberikan dampak yang berbeda pada jumlah sampah ilegal. Skenario-2 yang lebih menekankan penguatan penegakan hukum berhasil menekan jumlah sampah ilegal.

Hasil Pengujian Skenario dan Pembahasan

Dalam konteks pengelolaan sampah, masalah sampah ilegal, seperti pembuangan sampah di pinggir jalan, menjadi tantangan serius bagi banyak kota di seluruh dunia. Meskipun berbagai upaya telah dilakukan

untuk mengurangi jumlah sampah ilegal, hasil eksperimen dengan model simulasi menunjukkan bahwa subsidi untuk fasilitas pengolahan sampah tidak cukup efektif dalam menurunkan jumlah sampah ilegal. Sebaliknya, penguatan penegakan hukum terhadap tindakan pembuangan sampah ilegal terbukti lebih efektif dalam mengurangi masalah ini secara signifikan.

1. Peran Subsidi Fasilitas Pengolahan Sampah

Subsidi untuk fasilitas pengolahan sampah sering kali dianggap sebagai solusi yang baik untuk meningkatkan kapasitas pengelolaan sampah. Dengan menyediakan lebih banyak fasilitas, diharapkan masyarakat akan lebih terdorong untuk membuang sampah mereka dengan benar. Namun, hasil dari model simulasi menunjukkan bahwa meskipun subsidi ini dapat meningkatkan kapasitas pengolahan, mereka tidak secara langsung mengubah perilaku masyarakat yang membuang sampah secara ilegal. Beberapa faktor yang mungkin berkontribusi terhadap hal ini adalah:

- Kurangnya Kesadaran Masyarakat:** Masyarakat mungkin tidak sepenuhnya menyadari keberadaan fasilitas baru atau tidak memahami pentingnya menggunakan fasilitas tersebut.
- Aksesibilitas:** Fasilitas pengolahan yang baru mungkin tidak selalu mudah diakses oleh semua lapisan masyarakat, terutama di daerah yang kurang terlayani.
- Kebiasaan Lama:** Kebiasaan membuang sampah secara ilegal mungkin sudah mengakar dalam perilaku masyarakat, dan perubahan perilaku ini memerlukan waktu dan pendidikan yang lebih mendalam.

2. Efektivitas Penegakan Hukum

Di sisi lain, penguatan penegakan hukum terhadap tindakan pembuangan sampah ilegal menunjukkan hasil yang lebih positif. Penegakan hukum yang ketat dapat menciptakan efek jera bagi pelanggar, yang pada gilirannya dapat mengurangi jumlah

sampah ilegal. Beberapa alasan mengapa penegakan hukum lebih efektif meliputi:

- a. Peningkatan Kesadaran: Ketika masyarakat menyadari bahwa ada konsekuensi nyata dari tindakan mereka, mereka cenderung lebih berhati-hati dalam membuang sampah. Penegakan hukum yang konsisten dapat meningkatkan kesadaran akan pentingnya pengelolaan sampah yang baik.
- b. Perubahan Perilaku: Dengan adanya sanksi yang jelas, masyarakat mungkin lebih termotivasi untuk mengubah perilaku mereka dan mematuhi peraturan yang ada.
- c. Dukungan Masyarakat: Penegakan hukum yang efektif sering kali didukung oleh masyarakat yang peduli terhadap lingkungan. Ketika masyarakat melihat bahwa tindakan tegas diambil terhadap pelanggar, mereka lebih cenderung untuk berpartisipasi dalam upaya pengelolaan sampah yang lebih baik.

Meskipun kedua skenario- subsidi untuk fasilitas pengolahan sampah dan penguatan penegakan hukum terhadap pembuangan sampah ilegal-menunjukkan hasil yang berbeda dalam hal menekan jumlah sampah ilegal, tidak demikian halnya terhadap jumlah sampah rumah tangga. Analisis terkait hal ini adalah sebagai berikut:

1. Kehidupan Modern dan Produksi Sampah: Dalam kehidupan modern, setiap rumah tangga menghadapi tuntutan yang beragam, mulai dari kebutuhan dasar hingga gaya hidup yang lebih konsumtif. Dengan meningkatnya populasi dan urbanisasi, produksi sampah rumah tangga terus meningkat. Produk kemasan, makanan siap saji, dan barang-barang sekali pakai menjadi bagian dari kehidupan sehari-hari, yang semuanya berkontribusi pada akumulasi sampah. Dalam konteks ini, tidak ada rumah tangga yang dapat sepenuhnya menghindari produksi sampah, terlepas

dari adanya fasilitas pengolahan atau penegakan hukum.

2. Keterbatasan Kebijakan dalam Mengatasi Masalah Sampah: Meskipun subsidi untuk fasilitas pengolahan sampah bertujuan untuk meningkatkan kapasitas pengelolaan, dan penegakan hukum diharapkan dapat menciptakan efek jera, kedua pendekatan ini tidak cukup untuk mengatasi masalah yang lebih besar. Subsidi mungkin tidak mengubah perilaku masyarakat yang sudah terbiasa dengan cara hidup yang menghasilkan sampah. Selain itu, penegakan hukum yang ketat pun tidak selalu efektif jika masyarakat tidak memiliki alternatif yang memadai untuk membuang sampah mereka dengan benar.

KESIMPULAN

Hasil eksperimen menunjukkan bahwa kedua skenario tidak berhasil dalam menekan jumlah sampah rumah tangga. Namun ada perbedaan dalam hal terhadap jumlah sampah ilegal.

Untuk menekan jumlah sampah ilegal, pendekatan yang lebih efektif adalah melalui penguatan penegakan hukum daripada hanya mengandalkan subsidi fasilitas pengolahan sampah. Meskipun subsidi dapat membantu meningkatkan kapasitas pengelolaan, tanpa adanya penegakan hukum yang kuat, perilaku pembuangan sampah ilegal tidak akan berubah secara signifikan. Oleh karena itu, penting bagi pemerintah dan pemangku kepentingan untuk mengembangkan strategi yang menggabungkan peningkatan fasilitas dengan penegakan hukum yang ketat untuk mencapai pengelolaan sampah yang lebih efektif dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adipraja, P. F. E., & Islamiyah, M. (2016). Prediksi Volume Sampah TPAS Talangagung dengan Pendekatan Sistem Dinamik. *SMATIKA Jurnal*, 6(2), 24–28
- Agustia, Y. P. (2014). Model Sistem Dinamik pada Pengembangan Pengelolaan Sampah di Kecamatan Gubeng, Kota Surabaya, Master Thesis,

- Insitut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya
- Anggoro, P. W., et al. (2023). System dynamics modelling for calculation of carbon footprint on a non-homogeneous production system: A case in a ceramic studio. *Results in Engineering*, 17, 100812.
- Mulinai, F., Munawar, E., & Oktaviani, C. Z. (2020). Preferensi Masyarakat Terhadap Aspek Teknis Pengelolaan Sampah di Kota Banda Aceh. *Teras Jurnal*, 10(2), 265–268
- Indrawati, C. D., & Murdapa, P. S. (2022). Pemodelan Multi Channel dengan Lotsize Berbeda: Menggunakan Pendekatan Kontinyu. *KONSTELASI: Konvergensi Teknologi dan Sistem Informasi*, 2(1), 71-79
- Sterman, J. D. (2000). *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. Irwin McGraw-Hill
- Ventana. (2024, August 20). Vensim. Retrieved from PLE (Personal Learning Edition): <https://vensim.com/free-downloads/>
- Wei, D., Wen, S., Chen, Y., Xu, Y., & Liang, B. (2013). The Stochastic Dynamics for Ecological Tourism System with Visitor Educational Intervention. *Mathematical Problems in Engineering*, 2013, 617608.
- Fitriani, M., Munawar, E., & Oktaviani, C. Z. (2020). *Preferensi Masyarakat terhadap Pengelolaan Sampah*. Teras Jurnal
- Agustina, R. Y. (2014). *Analisis Sistem Dinamik pada Pengelolaan Sampah di Surabaya*. Master Thesis, Universitas Airlangga