



Estimasi Luas Lahan Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Kota Kediri dengan Pendekatan Sistem Dinamik

Syadzadhiya Qothrunada Zakiyayasin Nisa^{*}, Restu Hikmah Ayu Murti, Muhammad Abdus Salam Jawwad

Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur

Email Korespondensi: syadzadhiya.tl@upnjatim.ac.id

Diterima: 05 Maret 2023

Disetujui: 17 April 2023

Diterbitkan: 28 April 2023

Kata Kunci:

Luas Lahan, Sampah, Sistem Dinamik, TPA

ABSTRAK

Sistem pengelolaan sampah di Indonesia umumnya menggunakan metode sanitary landfill. Metode *sanitary landfill* ini memerlukan luas lahan yang dapat menampung sejumlah sampah sesuai target waktu. Kota Kediri memiliki tempat penampungan akhir (TPA) yang saat ini telah penuh, sehingga perlu ada area baru untuk penampungan sampah. Perhitungan luas lahan *landfill* dapat diketahui melalui prediksi timbulan sampah yang akan dihasilkan dengan pendekatan sistem dinamik. Model pengelolaan sampah kota Kediri saat ini disimulasikan untuk strukturisasi model dan melakukan simulasi untuk 10 tahun ke depan. Hasil simulasi menunjukkan prediksi timbulan sampah yang akan dihasilkan kota Kediri hingga 10 tahun ke depan sebanyak 11.882.800 liter atau 11.882,8 m³. Estimasi ketinggian landfill 20 m, sehingga luas lahan penimbunan sampah seluas 594,14 m². Pemerintah Kota Kediri memerlukan lahan sebagai area TPA baru yang dapat menampung minimal dengan luas lahan penimbunan sampah tersebut.

Received: 05 March 2023

Accepted: 17 April 2023

Published: 28 April 2023

Keywords:

Land Area, Waste, Dynamic System, Sanitary Landfill

ABSTRACT

The waste management system in Indonesia generally uses the sanitary landfill method. This sanitary landfill method requires a land area that can accommodate a certain amount of waste according to the target time. Kediri City has a sanitary landfill which is currently full of waste, so there needs to be a new area for sanitary landfill. The calculation of the landfill area can be known through the prediction of the generation of waste that will be generated using a dynamic system approach. The current waste management system of Kediri City is used for a model structure and will be simulated for the next 10 years. The simulation results show that the estimation of waste generation that will be generated by Kediri for the next 10 years is 11,882,800 liters or 11,882.8 m³. The height of the landfill estimate is to be 20 m, so that the landfill area is 594.14 m². The Government of Kediri City requires land as a new sanitary landfill that can accommodate a minimum of this area of landfill estimation.

1. PENDAHULUAN

Timbulan sampah yang dihasilkan kota selalu meningkat dari waktu ke waktu. Hal ini dapat diakibatkan oleh pertumbuhan masyarakat yang meningkat, pola konsumsi masyarakat, dan prinsip pengurangan sampah yang diterapkan. Sistem pengelolaan sampah di TPA (Tempat Pembuangan Akhir) di Indonesia umumnya menggunakan metode *sanitary landfill*. Metode ini dinilai lebih ramah lingkungan dibandingkan *open dumping* (Manurung & Santoso, 2020). Metode *sanitary landfill* memerlukan luas lahan yang dapat menampung sejumlah sampah sesuai target waktu (Lesmana & Tawaqal, 2021).

Penentuan lahan TPA membutuhkan data kapasitas TPA dan target umur TPA. Berdasarkan kapasitas dan target umur

TPA akan dapat diketahui luas lahan yang diperlukan. Kapasitas TPA berhubungan dengan timbulan sampah yang akan terus bertambah seiring waktu, sehingga timbulan sampah ini bersifat dinamis (Warlina & Listyarini, 2022). Prediksi timbulan sampah yang dihasilkan kota dapat dilakukan dengan pendekatan sistem dinamik (Adipraja & Islamiyah, 2016; Kolekar et al., 2016; Nurfatmala et al., 2018). Pemodelan sistem dinamik dapat menganalisis hubungan dan sifat dalam pengelolaan sampah yang dinamis (Chaerul & Kartika, 2021). Pemodelan sistem dinamik dapat memberikan metode simulasi yang lebih komprehensif dan mutakhir untuk penilaian terpadu dari proses pengelolaan sampah yang kompleks (Kollikkathara et al., 2010).

Sistem dinamik adalah pemodelan sistem yang mampu menggambarkan adanya umpan balik antar variabel dan

akumulasi di sistem yang kompleks. Oleh sebab itu, sistem dinamik representatif digunakan untuk memodelkan sistem yang terjadi di dunia nyata (Suryani et al., 2020). Konsep pemodelan sistem dinamik terdiri dari: 1) menjelaskan suatu hubungan yang dinamis atau yang dipengaruhi hubungan waktu; 2) mengartikulasi perilaku dalam sistem nyata dengan pertimbangan karakteristik sistem tersebut; 3) memikirkan semua konsep dalam sistem nyata sebagai variabel yang kontinu dan saling berhubungan dalam lingkaran umpan balik dan sebab akibat; 4) identifikasi akumulasi pada sistem dan aliran masuk keluar; 5) merumuskan model perilaku sistem; 6) menyertakan pemahaman dan wawasan kebijakan setempat yang berlaku terhadap hasil model; serta 7) menerapkan perubahan yang dihasilkan dari pemahaman dan wawasan berbasis model (Kunc, 2016). ‘Stock’ dalam pemodelan sistem dinamik merupakan akumulasi yang terjadi dalam suatu sistem (Pruyt, 2013).

Setiap kota memerlukan TPA sebagai tempat pengelolaan sampahnya. Kota Kediri memiliki TPA Klotok sebagai tempat pembuangan seluruh sampah yang dihasilkan. Kapasitas TPA Klotok yaitu 510 m³ namun saat ini sudah penuh sehingga perlu ada area lain yang digunakan sebagai tempat pembuangan sampah (Kediri, 2022). Penentuan area baru perlu diketahui terlebih dahulu kebutuhan lahan untuk TPA baru (Manurung & Santoso, 2020). Pada penelitian ini dilakukan estimasi kebutuhan lahan TPA yang mampu menampung sampah Kota Kediri selama 10 tahun dengan pendekatan sistem dinamik.

2. METODE

2.1 Strukturisasi Model

Pada penelitian ini, model pengelolaan sampah TPA Kota Kediri dibuat menggunakan pendekatan sistem dinamik. Strukturisasi model system memakai software Vensim PLE.

2.2 Validasi Model

Validasi model diperlukan untuk menganalisis kesesuaian model yang dibangun terhadap sistem yang berjalan di dunia nyata. Semakin kecil simpangan model yang dihasilkan, maka model tersebut dapat dikategorikan semakin baik menggambarkan sistem atau proses nyata (Iriadi, 2015). Validasi model dapat dianalisis dengan perhitungan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) berdasarkan Persamaan 1. Nilai MAPE dapat digunakan untuk data dengan nilai besar.

- MAPE ≤ 5% : Sangat tepat
- 5% < MAPE ≤ 10% : Tepat
- MAPE > 10% : Tidak Tepat

$$MAPE = \left| \frac{A-F}{A} \right| \times 100\% \quad (1)$$

Dimana :

- A = Data Aktual di Lapangan
 - F = Data Hasil Simulasi
- (Muhammadi et al., 2001)

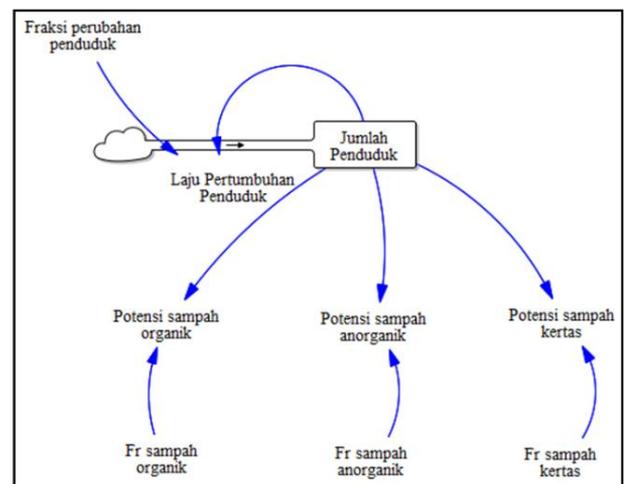
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Strukturisasi Model

Model disusun berdasarkan variable-variabel yang membentuk system. Variabel tersebut dibuat menjadi *stock and flow diagram* yang dapat menunjukkan hubungan antar variable (Warlina & Listyarini, 2022). Strukturisasi model sistem pengelolaan sampah kota Kediri ini dibagi menjadi beberapa sub model, yaitu sub model sampah penduduk, sub model TPS, dan sub model TPA.

a. Sub model sampah penduduk

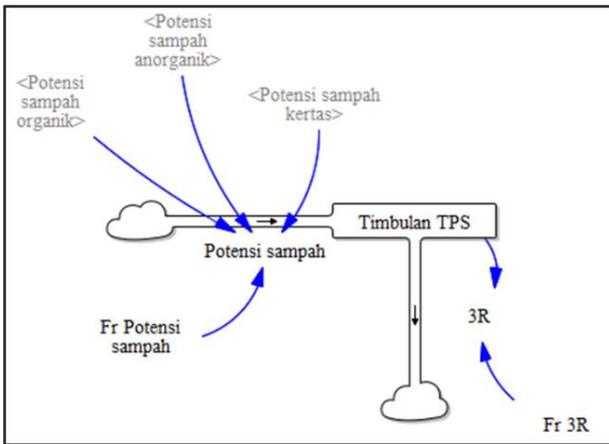
Jumlah sampah yang dibuang di TPA dipengaruhi oleh penduduk sekitar. Populasi penduduk menjadi faktor utama timbulan sampah (Al-Khatib et al., 2015). Rata-rata pertumbuhan penduduk kota Kediri sebesar 74% per tahun (Murti et al., 2022). Data awal jumlah penduduk menggunakan data tahun 2022. Laju pertumbuhan penduduk akan mempengaruhi jumlah penduduk kota Kediri yang dalam system ini menjadi ‘stock’. Jumlah penduduk ini menjadi akumulasi di dalam system, dan akan mempengaruhi potensi sampah yang terdiri dari sampah organik, sampah anorganik, dan sampah kertas. Struktur sub model sampah penduduk dapat dilihat pada Gambar 1.



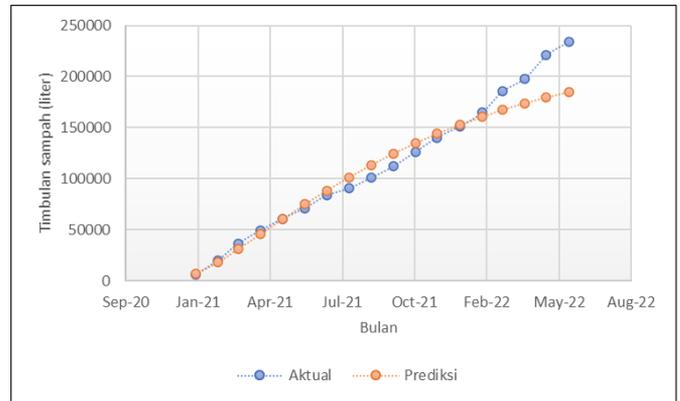
Gambar 1. Sub Model Sampah Penduduk

b. Sub model TPS

Sampah penduduk kota Kediri tidak semua langsung diangkut ke TPA, tetapi 50% dari total sampah diangkut ke TPS 3R. Sampah tersebut dikelola di TPS sebanyak 35% untuk dilakukan recycle. Sampah yang tidak terkelola di TPS selanjutnya dibawa ke TPA. Sehingga ada pengurangan sebanyak 35% dari total sampah penduduk kota Kediri. TPS 3R memiliki peran dalam mengurangi timbulan sampah dari rumah tangga. Sampah organik dari rumah tangga dapat dijadikan kompos, sedangkan sampah kering dapat diolah kembali atau diberikan ke pihak pengepul sampah (Kasih et al., 2018). Pengurangan sampah di TPS 3R dapat berjalan optimal dengan konsisten melakukan pemilahan secara menyeluruh (Sakti, 2022). Struktur sub model TPS dapat dilihat pada Gambar 2.



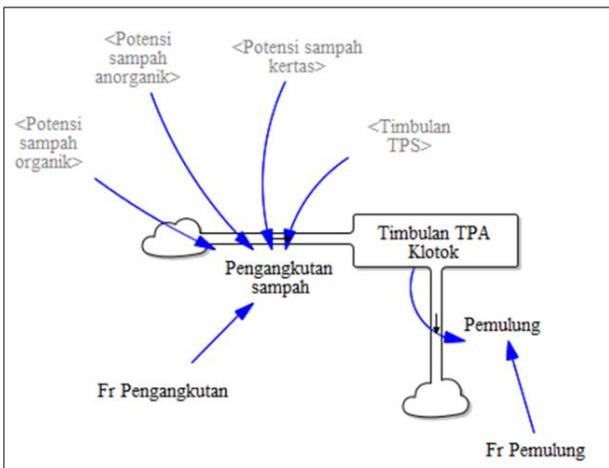
Gambar 2. Sub Model TPS



Gambar 4. Perbandingan data aktual dan prediksi model

c. Sub model TPA

Sampah yang masuk ke TPA akan dilakukan pengolahan dengan metode *landfilling*. Sumber sampah yang masuk ke TPA berasal dari sampah penduduk yang tidak masuk TPS dan sampah sisa pengelolaan di TPS. Di TPA terdapat beberapa pemulung yang mengambil sampah untuk dijual kembali. Faktor pengurangan sampah oleh pemulung ini dilibatkan dalam pengembangan model. Nilai pengurangan sampah di TPA oleh pemulung dapat dimasukkan dalam asumsi kemudian dilakukan kalibrasi dalam model. Nilai asumsi pengurangan sampah oleh pemulung sebesar 25% (Manulangga, 2022). Struktur sub model TPA dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Sub Model TPA

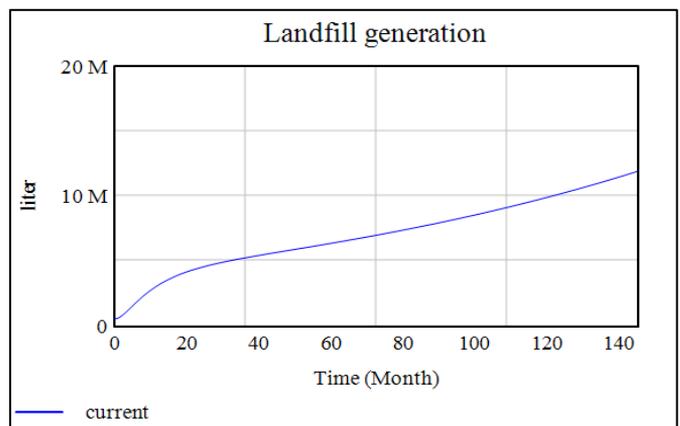
3.2 Validasi Model

Validasi model dilakukan terhadap variabel data timbulan sampah yang masuk ke TPA per bulan. Data aktual merupakan data timbulan sampah yang dicatat oleh petugas TPA, pada uji validasi ini menggunakan data dari bulan Januari 2021 hingga bulan Juni 2022. Model system dinamik TPA juga dilakukan simulasi untuk rentang waktu sesuai data aktual. Nilai MAPE rata-rata yang didapat dari uji validasi model ini sebesar 9,6%, sehingga model disimpulkan tepat dengan system nyata dan dapat digunakan. Perbandingan data aktual dengan simulasi model timbulan sampah TPA Klotok dapat dilihat pada Gambar 4.

3.3 Simulasi Model

Pembentukan model dibuat berdasarkan karakteristik sistem yang ada di dunia nyata. Simulasi model dilakukan untuk mengetahui jumlah timbulan sampah kota Kediri untuk 10 tahun atau hingga tahun 2032. Berdasarkan hasil simulasi 10 tahun didapatkan volume timbulan sampah kota Kediri di tahun 2032 sebanyak 11.882.800 liter atau 11.882,8 m³. Output simulasi model pada software Vensim dapat dilihat pada Gambar 5.

Timbulan sampah dipengaruhi oleh jumlah penduduk, dimana peningkatan timbulan sampah berbanding lurus dengan peningkatan jumlah penduduk. Hubungan antara peningkatan jumlah penduduk dengan timbulan sampah juga ditemukan di TPA kota lainnya, salah satu contohnya yaitu TPA di Kabupaten Malang. Peningkatan rata-rata penduduk Kabupaten Malang sebesar 0,73%. Angka tersebut menghasilkan perkiraan peningkatan volume sampah hingga 341.000 m³ pada tahun 2035 (Adipraja & Islamiyah, 2016). Prediksi timbulan sampah di Kota Kediri lebih kecil dari Kabupaten Malang dikarenakan jumlah penduduk di Kota Kediri lebih kecil dari Kabupaten Malang.



Gambar 5. Hasil simulasi model timbulan sampah 10 tahun

3.4 Perhitungan Kebutuhan Lahan

Ketinggian *landfill* umumnya berkisar antara 15 m – 25 m (Lesmana & Tawaqal, 2021). Pada penelitian ini, estimasi ketinggian landfill adalah 20 m. Perhitungan luas area penimbunan sampah untuk 10 tahun dengan Pers. 2 berikut:

$$\begin{aligned} \text{Luas area landfill} &= \frac{\text{Timbunan sampah}}{\text{Tinggi landfill}} \quad (2) \\ &= \frac{11.882,8 \text{ m}^3}{20 \text{ m}} \\ &= 594,14 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Prediksi timbunan sampah di Kota Kediri hingga tahun 2032 dapat digunakan untuk menghitung luas lahan yang dibutuhkan. Sistem pengelolaan sampah di Kota Kediri menggunakan sistem TPA. Ketinggian TPA diasumsikan 20 m, sehingga luas lahan penimbunan menjadi 594,14 m². Luas efektif untuk penimbunan sampah yaitu 70% dari luas total lahan TPA, sehingga 30% luas sisanya merupakan luasan untuk utilitas seperti jalan, bangunan kantor, jembatan penimbangan, dan instalasi pengolahan sampah dan lindi (Hayuningrat & Rahmadyanti, 2021). Berdasarkan pertimbangan kebutuhan lahan efektif penimbunan dan utilitas maka luas lahan TPA yang dibutuhkan minimal 850 m² untuk mempertimbangkan area lahan fasilitas sarana dan prasarana TPA.

4. SIMPULAN

Pengelolaan sampah Kota Kediri dapat disimulasikan dengan system dinamik. Berdasarkan pemodelan system pengelolaan sampah, dapat diperkirakan volume timbunan sampah Kota Kediri 10 tahun ke depan sebanyak 11.882,8 m³. Luas lahan efektif untuk penimbunan dengan ketinggian 20 m yaitu 594,14 m². Pemerintah Kota Kediri memerlukan lahan sebagai area TPA baru yang dapat menampung minimal dengan luas area penimbunan tersebut. Saran yang dapat diberikan yaitu perlunya penelitian lanjutan terkait skenario pengolahan sampah sehingga menghasilkan kebijakan dalam pengurangan sampah di TPA Kota Kediri.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, sebagai pendana kegiatan riset ini melalui skema RISDA No: SPP/113/UN.63.8/LT/V/2022.

DAFTAR PUSTAKA

Adipraja, P. F. E., & Islamiyah, M. (2016). Prediksi Volume Sampah TPAS Talangagung dengan Pendekatan Sistem Dinamik (Waste Volume Prediction in TPAS Talangagung using Sistem Dynamic Approache). *SMATIKA Jurnal*, 6(2), 24–28.

Al-Khatib, I. A., Eleyan, D., & Garfield, J. (2015). A system dynamics model to predict municipal waste generation and management costs in developing areas. *Journal of Solid Waste Technology and Management*, 41(2), 109–120. <https://doi.org/10.5276/JSWTM.2015.109>

Chaerul, M., & Kartika, 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(2), 101. <https://doi.org/10.31815/jp.2021.16.101-115>

Hayuningrat, M. A., & Rahmadyanti, E. (2021). Analisis Kebutuhan Lahan Dan Sarana Prasarana Pengelolaan Sampah (Studi Kasus: TPA Ngegong Kota Blitar). *Jurnal Teknik Sipil*, 2(1), 54–64. <https://doi.org/10.31284/j.jts.2021.v2i1.1872>

Iriadi, R. (2015). Model Pengendalian Pencemaran Perairan Danau Laut Tawar Di Kabupaten Aceh Tengah. In *Dissertation*. Institut Pertanian Bogor.

Kasih, D., Indrawan, I., Setyowati, L., Tanjung, M., & Suryati, I. (2018). Studi Perancangan Dan Pemanfaatan TPS 3R Untuk Sampah TPS (Tempat Pengolahan Sampah Rumah Tangga). *Jurnal Dampak*, 15(1), 16–22.

Kediri. (2022). *TPA Baru Hanya Muat 7 Tahun*. <https://www.kedirikota.go.id/p/berita/1015201/tpa-baru-hanya-muat-7-tahun>

Kolekar, K. A., Hazra, T., & Chakrabarty, S. N. (2016). A Review on Prediction of Municipal Solid Waste Generation Models. *Procedia Environmental Sciences*, 35, 238–244. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.07.087>

Kolikkathara, N., Feng, H., & Yu, D. (2010). A system dynamic modeling approach for evaluating municipal solid waste generation, landfill capacity and related cost management issues. *Waste Management*, 30(11), 2194–2203. <https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2010.05.012>

Kunc, M. (2016). System Dynamics: A Behavioral Modeling Method. *Winter Simulation Conference*, 53–64.

Lesmana, R. Y., & Tawaqal, G. I. (2021). Rencana Kebutuhan Luas Lahan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah (TPA) Tipe Sanitary Landfill untuk Sampah dari Kecamatan Pahandut. *Media Ilmiah Teknik Lingkungan*, 6(1), 11–15. <https://doi.org/10.33084/mitl.v6i1.1957>

Manulangga, O. G. L. P. (2022). Estimasi Timbunan Sampah dan Luas Lahan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah (TPA) di Kota Kupang. *INSOLOGI: Jurnal Sains Dan Teknologi*, 1(2), 133–138. <https://doi.org/10.55123/insologi.v1i2.255>

Manurung, D. W., & Santoso, E. B. (2020). Penentuan Lokasi Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Sampah yang Ramah Lingkungan di Kabupaten Bekasi. *Jurnal Teknik ITS*, 8(2). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v8i2.48801>

Muhammadi, S., Aminullah, E., & Susilo, B. (2001). *System Dynamic Analysis: Environmental, Social, Economic, Management*. UMJ Press.

Murti, R. H. A., Jawwad, M. A. S., Nisa', S. Q. Z., & Ni'am, A. C. (2022). Study of Estimation Methane Emissions from Municipal Solid Waste Landfill Based on IPCC Model (Case Study: Klotok Landfill, Kediri). *Jurnal Presipitasi: Media Komunikasi Dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, 19(3), 639–650.

Nurfatmala, N., Mallongi, A., & Birawida, A. B. (2018). MODEL DINAMIS DALAM MEMPREDIKSI TIMBULAN SAMPAH RUMAH TANGGA DI KOTA BAUBAU. *Jurnal Kesehatan Masyarakat Maritim*, 1(3). <https://doi.org/10.30597/JKMM.V1I3.8726>

Pruyt, E. (2013). System dynamics. In *Small System Dynamics Models for Big Issues*. TU Delft Library. https://doi.org/10.1007/978-1-84882-809-4_2

Sakti, R. D. S. (2022). *Peran Tempat Pengolahan Sampah 3R (reduce, reuse, recycle) dalam Mengurangi*

Pengangkutan Sampah TPA Di Kawasan Kabupaten Sleman. Universitas Islam Indonesia.
Suryani, E., Hendrawan, R. A., & Rahmawati, U. E. (2020).
Model Dan Simulasi Sistem Dinamik. CV Budi Utama.
Warlina, L., & Listyarini, S. (2022). The Study of Estimation

of Landfill Capacity through Dynamic System
Approach. *Scientifica*, 2022.
<https://doi.org/10.1155/2022/1068111>