

Simulasi Degradasi Sampah Organik untuk Optimasi Siklus Penggunaan Sebuah Zona Penimbunan di TPAS Talangagung

Philip Faster Eka Adipraja¹, Mufidatul Islamiyah²
^{1,2}Program Studi Teknik Informatika, STMIK Asia Malang
¹ philipfaster@gmail.com, ² mufidatul014@gmail.com

ABSTRAK. Peningkatan volume sampah berbanding lurus dengan peningkatan konsumsi dan jumlah penduduk Malang yang rata-rata sebesar 0.73 persen per tahun. Data menunjukkan bahwa terjadi peningkatan volume sampah pada tahun 2015 sebesar 150% di Tempat Pembuangan Akhir Sampah (TPAS) Talangagung. Hasil prediksi terhadap volume sampah menunjukkan bahwa volume sampah akan segera melebihi kapasitas zona penimbunan. Zona 1 TPAS Talangagung sebagai zona penimbunan sampah dikelola dengan metode *sanitary landfill* dengan kapasitas 59.500 M³. Pemodelan dan simulasi dilakukan dengan menggunakan pendekatan sistem dinamik. Hasil simulasi menunjukkan bahwa hasil akumulasi sampah tahun 2015 dan 2016 melebihi kapasitas zona sebesar 7 persen yang dapat ditimbun dalam zona penimbunan lain. Hasil prediksi dalam pengembangan model yang telah divalidasi menunjukkan bahwa hasil akumulasi sampah pada tahun 2021 dan 2022 telah melebihi kapasitas zona hingga 201.9%. Hal ini mengisyaratkan bahwa pengelolaan sampah pada tahun tersebut memerlukan dua zona penimbunan yang masing-masing seluas 0.7 ha. Penimbunan sampah harus ditingkatkan selama kurang lebih 4 hingga 7 bulan untuk proses degradasi sampah organik menjadi kompos. Sampah dalam zona penimbunan yang telah menjadi kompos dapat diambil digunakan untuk pertanian dan zona dapat diisi dengan sampah organik yang baru.

Kata Kunci: Degradasi Sampah Organik; Siklus Zona Penimbunan; Sistem Dinamik; TPAS Talangagung;

ABSTRACT. Increasing the waste volume is proportional to the increase in consumption and the increase of Malang residents who average of 0.73 percent every year. The data shows that there is a 150% increase in waste volume in 2015 in Talangagung Landfill. The prediction shows that waste volume soon will exceed the landfill zone capacity. Zone 1 of Talangagung as a landfill zone managed by sanitary landfill method with a capacity of 59,500 M³. Modeling and simulation are done by using system dynamics approach. The simulation results show that the accumulation of waste in 2015 and 2016 exceeds the capacity of zones by 7 percent that can be moved in other landfill zones. The predicted results in the development of validated models indicate that the results of accumulated waste in 2021 and 2022 have exceeded the zone capacity up to 201.9%. This suggests that waste management for the year requires two zones of 0.7 ha. Waste on landfill should be kept for about 4 to 7 months to degrade organic waste into compost. The composted waste can be used for agriculture and the zones can be filled with new organic waste.

Keywords: Organic Waste Degradation; landfill zone cycle; System Dynamics; Talangagung Landfill;

1. PENDAHULUAN

Dalam beberapa tahun terakhir, aktivitas penduduk semakin meningkat sehingga akumulasi limbah berubah menjadi sebuah masalah lingkungan dan ekonomi yang serius (Patidar, Gupta, & Tiwari, 2012). Peningkatan jumlah penduduk wilayah Malang yang rata-rata sebesar 0,73 persen per tahun (Adipraja & Islamiyah, 2016) disertai dengan peningkatan konsumsi menjadi penyebab utama dalam meningkatnya jumlah volume sampah (Sumantri & Pandebesie, 2015). Salah satu tempat pengelolaan sampah di Malang yaitu Tempat Pembuangan Akhir Sampah (TPAS) Talangagung. Data dari Dinas Cipta Karya dan Tata Ruang Kabupaten Malang menunjukkan bahwa di tahun 2014 TPAS Talangagung menerima sampah sebanyak 46,558 M³, namun pada tahun 2015 terjadi peningkatan jumlah volume sebesar 150 persen yaitu sebanyak 70,490 M³ (DCKTR, 2014).

TPAS Talangagung menggunakan metode *sanitary landfill* dalam pengelolaan sampah yang dapat menghasilkan biogas untuk digunakan oleh masyarakat sekitar dan sebagian lagi digunakan sebagai pembangkit listrik untuk sekitar TPAS (DCKTR, 2014). Peningkatan signifikan terhadap volume sampah yang terjadi dalam dua tahun terakhir (2014-2015) dapat menimbulkan permasalahan baru dalam pengelolaan zona TPAS Talangagung. TPAS Talangagung memiliki 4 zona penimbunan dengan total lahan seluas 4,6 hektar dimana saat ini zona 1 dan zona 2 sedang dalam status nonaktif serta zona 3 dan 4 dalam status memproduksi biogas.

Berbagai metode telah digunakan dalam pemodelan dan simulasi volume sampah pada perkotaan berkembang (Al-Khatib, Eleyan, & Garfield, 2015) maupun perkotaan maju (Dyson & Chang, 2005), dan salah-satunya telah dilakukan oleh Adipraja dan Islamiyah dalam mensimulasikan volume sampah

menggunakan sistem dinamik (Adipraja & Islamiyah, 2016), dan hasil simulasi menunjukkan bahwa pengelolaan TPAS Talangagung akan menghadapi permasalahan baru dalam mengakomodasi peningkatan jumlah volume sampah, penelitian tersebut digunakan sebagai referensi dalam pemodelan penelitian ini. Pemodelan dan simulasi dengan pendekatan sistem dinamik menganalisis faktor sebab akibat, ketergantungan, interaksi saling menguntungkan, maupun umpan balik informasi sebagai metode untuk analisis dan desain sebuah kebijakan baru (Richardson, 2013). Oleh sebab itu, dalam penelitian ini menggunakan metode sistem dinamik untuk melakukan identifikasi dan simulasi waktu degradasi sampah organik dengan beberapa variabel inputan yang memiliki keterkaitan untuk optimasi siklus penggunaan pada sebuah zona penimbunan di TPAS Talangagung.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sistem Dinamik

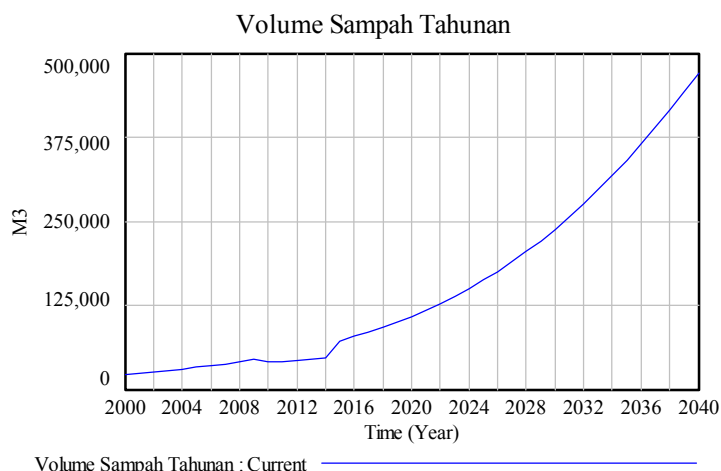
Pendekatan sistem dinamik merupakan pendekatan pemodelan dan simulasi berbantuan komputer untuk membuat analisis sistem yang ada untuk memodelkan skenario kebijakan atau sistem baru. Penggunaan sistem dinamik diawali dengan analisis permasalahan dalam suatu sistem kontinyu, dimana variabel-variabel yang berpengaruh secara signifikan diidentifikasi dan dibuat modelnya. Identifikasi dilakukan hingga seluruh variabel yang dimodelkan telah mencakup tujuan penelitian. Model yang telah selesai dikembangkan, dilanjutkan dengan pengembangan SFD (*Stock and Flow Diagram*) yang disimulasikan dengan bantuan komputer. (Richardson, 2013).

Hasil simulasi sistem dinamik divalidasi dengan menggunakan uji perbandingan rata-rata (*mean comparison*) dan perbandingan standar deviasi (*variance comparison*). *Mean comparison* (E1) dilakukan dengan membandingkan rata-rata data aktual dengan rata rata data hasil simulasi, bernilai valid apabila nilai absolut E1 kurang dari 5%. *Variance comparison* (E2) dilakukan dengan membandingkan standar deviasi data aktual dan data hasil simulasi, bernilai valid apabila nilai absolut E2 kurang dari 30%. (Barlas, 1996)

Model yang telah divalidasi dan bernilai valid dapat digunakan untuk menentukan skenario dan membantu para pihak pemegang kepentingan dalam membuat kebijakan atau sistem baru. Perencanaan skenario umumnya dilakukan dengan berbagai pendekatan yang mengembangkan serangkaian alur sistem di masa depan. Perencanaan skenario digunakan untuk menentukan antisipasi terhadap kejadian di masa depan dengan mempertimbangkan isu, tren, dan dampak yang mungkin akan dihadapi seiring dengan perkembangan waktu (Forrester, 1998).

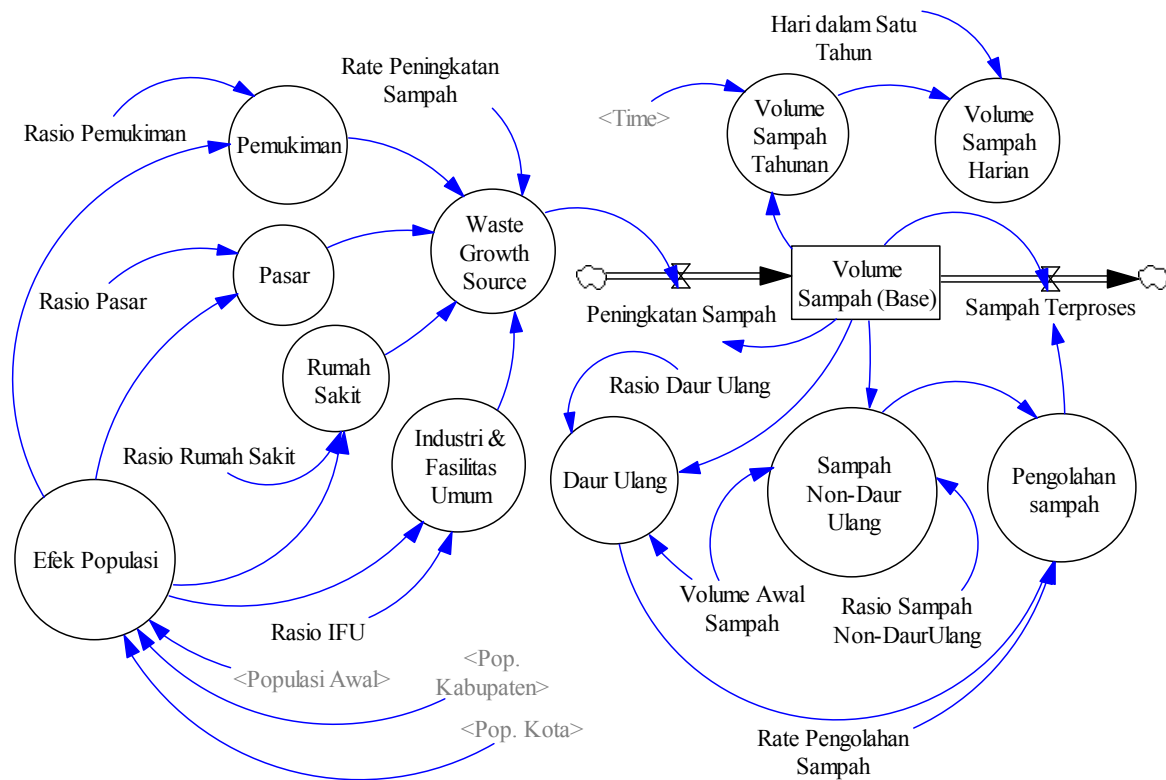
2.2. Volume Sampah TPAS Talangagung

Data yang diperoleh dari Dinas Cipta Karya dan Tata Ruang Kabupaten Malang menunjukkan bahwa sampah yang dikirimkan ke TPAS Talangagung bersumber dari limbah pasar, perumahan, rumah sakit, dan industri serta fasilitas umum. Rasio sumber sampah terbanyak yaitu dari limbah perumahan sebesar 67,4%, diikuti oleh rasio sumber limbah dari pasar sebesar 22,7%. Limbah rumah sakit hanya menyumbang sekitar 3,4% lebih sedikit dibandingkan sumber limbah dari industri serta fasilitas umum yang berkisar 6,4%.(DCKTR, 2014). Hasil pengembangan pemodelan volume sampah (Adipraja & Islamiyah, 2016) yang telah dimodifikasi dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 1. Grafik Prediksi Volume Sampah (Adipraja & Islamiyah, 2016)

Sampah yang dikirimkan ke TPAS Talangagung akan diolah terlebih dahulu untuk dipisahkan antara sampah organik dan sampah non organik. Rasio sampah yang dikirimkan ke TPAS Talangagung, sebesar 53 persennya merupakan sampah organik yang nantinya akan ditampung ke zona penimbunan sebagai reaktor produksi biogas (Adipraja, Islamiyah, & Wahyuni, 2017). Sampah non organik dikumpulkan dan didaur ulang di TPAS Talangagung.



Gambar 2. Pemodelan Volume Sampah (SFD)

Model volume sampah yang telah disimulasikan menghasilkan prediksi terhadap volume sampah dalam beberapa tahun kedepan. Dimana pada tahun 2015 menunjukkan angka 70 ribu M³. Prediksi tahun 2035 menunjukkan volume sampah yang semakin meningkat hingga sekitar 341 ribu M³ per tahun yang dapat dilihat pada Gambar 1 (Adipraja & Islamiyah, 2016). Jadi dapat disimpulkan bahwa dari hasil simulasi, peningkatan volume sampah berbanding lurus dengan penambahan jumlah penduduk.

2.3. Degradasi Sampah Organik

Sampah atau limbah organik dikonversi menjadi kompos untuk membantu menjaga struktur dan kekayaan tanah (Patidar et al., 2012). Secara umum, periode degradasi sampah berlangsung setidaknya membutuhkan waktu 21 hari hingga 200 hari atau lebih. Periode waktu degradasi tersebut berbeda sesuai dengan jenis sampah yang terdegradasi.

Tabel 1. Perbedaan berbagai macam pengolahan limbah Agroindustri (Patidar et al., 2012)

No	Limbah Agroindustri	Suplemen yang Digunakan	Periode Waktu Degradasi
1.	Kotoran ternak	Kotoran hewan dan limbah pertanian	55 hari
2.	Sumber limbah rumah tangga terpisah	Serut kayu / serbuk gergaji	112 hari
3.	Limbah organik kota	<i>Biosolid</i>	120 hari
4.	Campuran pupuk kandang	Limbah kertas	56 hari
5.	Limbah dapur	Limbah rumput dan kertas	21 hari
6.	Enceng gondok	Kotoran sapi	210 hari
7.	Limbah bayam	Kotoran hewan	79 hari
8.	<i>Biosolid</i>	Kertas-mulsa	28 hari
9.	Lumpur	Serbuk gergaji	150 hari

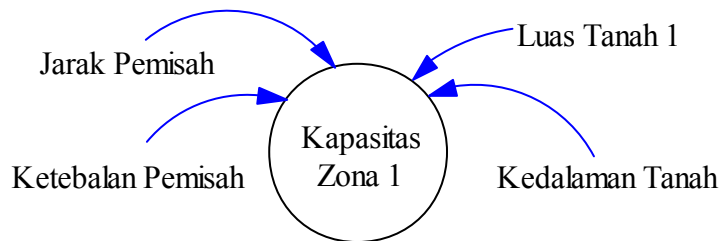
No	Limbah Agroindustri	Suplemen yang Digunakan	Periode Waktu Degradasi
10.	Produk sampingan limbah tebu	Ampas tebu dan sampah tebu	70 hari
11.	Jerami gandum	-	70 hari

Rentang waktu sampah organik perkotaan terdegradasi menjadi kompos paling tidak membutuhkan 120 hari (4 bulan), dimana periode degradasi enceng gondok memakan waktu hingga 210 hari (7 Bulan). Perbedaan berbagai macam periode degradasi sampah yang telah diteliti dapat dilihat pada Tabel 1.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pemodelan Penggunaan Zona TPAS

Umumnya rasio sampah organik perkotaan berkisar antara 48-70% (Adipraja et al., 2017) dan TPAS Talangagung menimbun sekitar 53% kiriman sampah ke dalam zona aktif (DCKTR, 2014). Zona penimbunan yang akan diteliti dalam penelitian ini dikhususkan kepada zona 1 TPAS Talangagung dengan luas 0.7 ha atau 7,000 M². Dengan metode penimbunan *sanitary landfill* yang menimbun sampah hingga kedalaman 10 meter, dan sekat setiap 3 meter dengan tinggi sekat 50 cm, maka zona 1 dapat diisi sampah dengan total volume 59,500 M³. Pemodelan kapasitas zona dapat dilihat pada Gambar 3



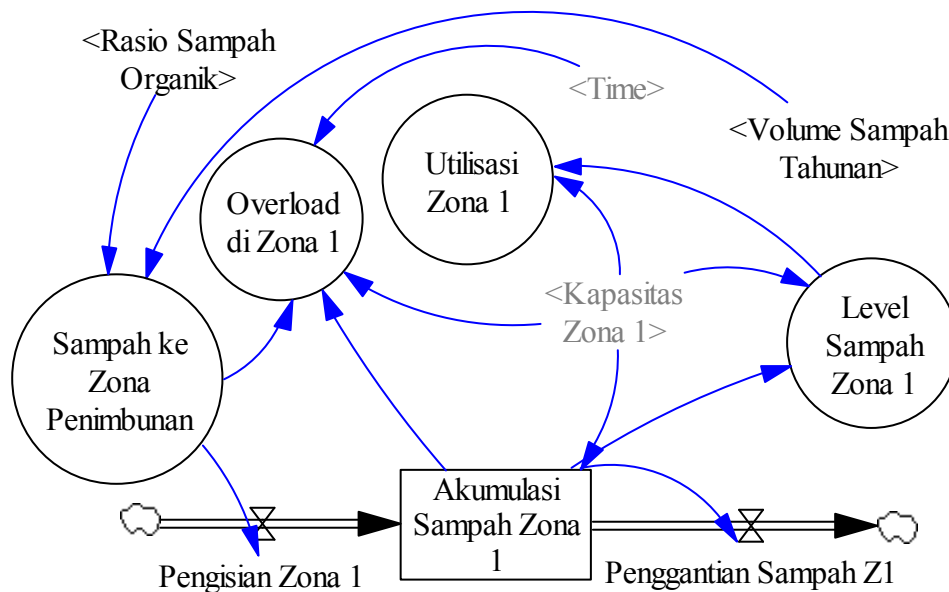
Gambar 3. Pemodelan kapasitas zona 1 (SFD)

Model kapasitas zona 1 digunakan untuk menghitung volume maksimum sampah yang dapat ditimbun dengan memperhatikan jumlah sampah yang masuk tiap tahunnya dan mempertimbangkan rasio sampah organik yang akan ditimbun. Apabila zona sudah penuh, maka zona akan dipelihara selama proses degradasi sampah menjadi kompos. Rata-rata degradasi sampah yaitu sekitar 120 hari hingga 210 hari atau sekitar 4-7 bulan (Patidar et al., 2012).

Tabel 2. Formulasi Permodelan Kapasitas Zona 1

Nama Variabel	Formulasi	Satuan
Luas Lahan	7000	M ²
Kedalaman Tanah	10	Meter
Jarak Pemisah	3	Meter
Ketebalan Pemisah	0.5	Meter
Kapasitas Zona 1	$(Kedalaman\ Tanah * Luas\ Lahan) - ((Kedalaman\ Tanah / Jarak\ Pemisah) * Ketebalan\ Pemisah * Luas\ Lahan)$	M ³

Pengembangan dari model kapasitas zona 1 disimulasikan menggunakan komputer, dan agar dapat menghasilkan data yang menggambarkan data asli, model pada Gambar 3 menggunakan equation yang ditunjukkan pada Tabel 2.



Gambar 4. Pemodelan akumulasi sampah dalam zona 1 (SFD)

Apabila periode degradasi selesai, timbunan kompos dalam zona 1 dapat dimanfaatkan dalam bidang pertanian, dan selanjutnya zona dapat dikosongkan dan diisi kembali dengan sampah organik baru. Melalui model yang telah dikembangkan, hasil perhitungan akumulasi seluruh sampah yang masuk dimulai pada tahun 2015 hanya memerlukan 42.5% kapasitas zona 1, namun tidak akan cukup apabila sampah pada tahun 2016 diakumulasi pada zona 1, maka kelebihan muatan 7% pada kapasitas zona 1 dapat mulai dipindahkan ke zona lainnya.

Saat zona 1 terisi penuh (100%) maka zona akan didiamkan kurang lebih 4-7 bulan untuk degradasi timbunan sampah terakhir. Setelah periode degradasi berakhir, zona perlu diregenerasi dengan cara mengganti tanah hasil degradasi (kompos) dengan sampah-sampah yang baru pada tahun tersebut. Hasil simulasi penggunaan kapasitas zona 1 pertahun dilihat dari data volume sampah yang masuk ke TPAS Talangagung dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Formulasi akumulasi sampah dalam Zona 1

Nama Variabel	Formulasi	Satuan
Rasio Sampah Organik	53	Persen
Sampah ke Zona Penimbunan	$(Volume\ Sampah\ Tahunan * Rasio\ Sampah\ Organik / 100)$	M3
Pengisian Zona 1	Sampah ke Zona Penimbunan	Dmnl
Akumulasi Sampah Zona 1	IF THEN ELSE(Akumulasi Sampah Zona 1 > Kapasitas Zona 1, Akumulasi Sampah Zona 1 - Penggantian Sampah Z1, Pengisian Zona 1)	M3
Penggantian Sampah Z1	$Akumulasi\ Sampah\ Zona\ 1 * 2$	Dmnl
Level Sampah Zona 1	IF THEN ELSE(Akumulasi Sampah Zona 1 > Kapasitas Zona 1, Kapasitas Zona 1, Akumulasi Sampah Zona 1)	M3
Utilisasi Zona 1	$Level\ Sampah\ Zona\ 1 / Kapasitas\ Zona\ 1 * 100$	Persen
Overload di Zona 1	IF THEN ELSE(Time > 2003, IF THEN ELSE(Akumulasi Sampah Zona 1 > Kapasitas Zona 1, Akumulasi Sampah Zona 1 - Kapasitas Zona 1, IF THEN ELSE(Akumulasi Sampah Zona 1 = 0, IF THEN ELSE(Sampah ke Zona Penimbunan >= 0, Sampah ke Zona Penimbunan, 0), 0), 0)	M3

Pengembangan dari model akumulasi sampah dalam zona 1 disimulasikan dan untuk menghasilkan data yang menggambarkan data asli, model pada Gambar 4 menggunakan equation yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 4. Tingkat Timbunan Sampah pada Zona 1

Tahun	Level Sampah Zona 1 (%)	Akumulasi Sampah Terhadap Zona 1 (%)
2010	-	-
2011	36.4	36.4
2012	73.7	73.7
2013	100.0	112.3
2014	-	-
2015	42.5	42.5
2016	100.0	107.0
2017	-	-

Hasil simulasi pada Tabel 4 merupakan dasar untuk memprediksi siklus regenerasi sampah pada zona 1 di tahun tahun berikutnya. Pemodelan menggunakan pendekatan sistem dinamik menghasilkan sebuah simulasi prediksi tingkat penimbunan sampah ke zona 1 dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Prediksi Tingkat Penggunaan Kapasitas Zona 1

Tahun	Level Sampah Zona 1 (%)	Akumulasi Sampah Terhadap Zona 1 (%)
2017	-	-
2018	76.0	76.0
2019	100.0	158.3
2020	-	-
2021	96.9	96.9
2022	100.0	201.9
2023	-	-
2024	100.0	123.3
2025	-	-
2026	100.0	144.5
2027	-	-
2028	100.0	169.0
2029	-	-
2030	100.0	197.0
2031	-	-
2032	100.0	228.8
2033	-	-
2034	100.0	264.5
2035	-	-

Hasil prediksi menunjukkan bahwa akumulasi volume sampah yang masuk per tahun pada tahun 2021 dan 2022 sudah melebihi kapasitas zona 1 hingga lebih dari 200%, dapat dikatakan bahwa mulai tahun 2022, TPAS Talangagung membutuhkan 2 zona penimbunan dengan kapasitas yang sama yang digunakan dalam waktu bersamaan.

3.2. Validasi Hasil Simulasi

Sebuah pemodelan perlu untuk diuji sebelum dapat digunakan untuk proses prediksi. Untuk melihat kesesuaian antara hasil simulasi dengan data yang ada, hasil simulasi model yang telah dibuat diuji menggunakan E1 dan E2. Hasil simulasi yang divalidasi yaitu volume sampah yang masuk ke TPAS Talangagung yang secara detail dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Validasi Volume Sampah TPAS Talangagung

Jenis Validasi	Hasil Validasi	Status
<p><i>Mean Comparison</i></p> $E1 = \frac{ \bar{S} - A }{A}$ <p>(< 5 %)</p>	$\frac{ 40,221 - 39,306 }{40,221}$ <p>= 0.02328 x 100% = 2,33%</p>	Valid
<p><i>Error Variance</i></p> $E2 = \frac{ Ss - Sa }{Sa}$ <p>(< 30 %)</p>	$\frac{ 15,346 - 15,463 }{15,463}$ <p>= 0.0076 x 100 % = 0.76%</p>	Valid

Hasil validasi volume sampah pada penelitian ini telah dianggap valid dengan *error rate* E1 sebesar 2,33% dan E2 sebesar 0.76%. Dengan demikian hasil skenario dapat digunakan untuk melakukan optimasi siklus penggunaan zona penimbunan.

4. KESIMPULAN

Zona 1 TPAS Talangagung dengan luas 0.7 ha memiliki kapasitas sampah maksimum hingga 59,500 M³. Penimbunan sampah dalam zona 1 akan didiamkan selama periode degradasi sampah yang berlangsung setidaknya membutuhkan waktu 21 hari hingga 200 hari atau lebih.

Melalui model yang telah dikembangkan, akumulasi sampah pada tahun 2015 menggunakan kapasitas zona sebesar 42.5%. Akumulasi timbunan sampah tahun 2015 dan tahun 2016 telah melebihi kapasitas zona sebesar 7% yang dapat dipindahkan ke zona lainnya.

Hasil prediksi dari pengembangan model menunjukkan bahwa pada tahun 2021 dan 2022 akumulasi sampah 2 tahun yang masuk TPAS Talangagung sudah melebihi kapasitas zona sebesar 201.9%, dan dapat dikatakan bahwa pengelolaan sampah di tahun tersebut memerlukan dua zona sekaligus dengan ukuran yang sama dan mempersiapkan zona ketiga untuk tahun-tahun berikutnya.

Validasi model dengan pengujian E1 dan E2 telah dianggap valid dengan *error rate* sebesar 2,33% untuk uji E1 dan sebesar 0.76% untuk uji E2.

Penelitian selanjutnya diharapkan dapat mengoptimasi seluruh zona penimbunan di TPAS Talangagung yaitu Zona 1, 2, 3, dan 4 dengan kapasitas zona yang berbeda. Untuk Produksi biogas juga dapat dijadikan sebuah variabel dalam mengoptimasi penggunaan zona penimbunan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini secara finansial didanai oleh Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi (Kemenristekdikti) melalui program hibah Penelitian Dosen Pemula (PDP). Lebih dari itu, pengerjaan penelitian ini juga mendapatkan support dari Dinas Cipta Karya dan Tata Ruang Kabupaten Malang.

DAFTAR RUJUKAN

Adipraja, P. F. E., & Islamiyah, M. (2016). Prediksi Volume Sampah TPAS Talangagung dengan Pendekatan Sistem Dinamik (Prediction of Waste Volume of TPAS Talangagung: A Systems Dynamic Approach). *SMATIKA JURNAL*, 6(2), 24–28.

Adipraja, P. F. E., Islamiyah, M., & Wahyuni, I. (2017). Prediksi Produksi Biogas Tahunan Dengan Pendekatan Sistem Dinamik Untuk Optimasi Kapasitas Sampah TPAS Talangagung (Prediction of Annual Biogas Production With System Dynamic Approach to Optimize The TPAS Talangagung Capacity). In *Seminar Nasional Inovasi Teknologi* (Vol. 1, hal. 385–390). Kediri: Universitas Nusantara PGRI (UNP) Kediri.

Al-Khatib, I. A., Eleyan, D., & Garfield, J. (2015). A System Dynamics Model to Predict Municipal Waste Generation and Management Costs in Developing Areas. *The Journal of Solid Waste Technology and*

- Management*, 41(2), 109–120.
- Barlas, Y. (1996). Formal aspects of model validity and validation in system dynamics. *System dynamics review*, 12(3), 183–210.
- DCKTR. (2014). *Profil TPA Wisata Edukasi Talangagung Kepanjen Kabupaten Malang (Profile of The Tourism Education of TPA Talangagung Kepanjen Malang Regency)*. Malang: Dinas Cipta Karya dan Tata Ruang.
- Dyson, B., & Chang, N. (2005). Forecasting Municipal Solid Waste Generation in A Fast-Growing Urban Region with System Dynamics Modeling. *Waste Management*, 25, 669–679.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2004.10.005>
- Forrester, J. W. (1998). System Dynamics, Alternative Futures, and Scenarios. In *16th International Conference of The System Dynamics Society*. Diambil dari
<http://www.systemdynamics.org/conferences/1998/PROCEED/00095.PDF>
- Patidar, A., Gupta, R., & Tiwari, A. (2012). *Enhancement of Bio-Degradation of Bio-Solids Via Microbial Inoculation in Integrated Composting and Vermicomposting Technology*. *Open Access Scientific Reports Patidar* (Vol. 1). <https://doi.org/10.4172/scientificreports.273>
- Richardson, G. P. (2013). *Encyclopedia of Operations Research and Management Science: System Dynamics*. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1153-7>
- Sumantri, R. A. G. I., & Pandebesie, E. S. (2015). Potensi Daur Ulang dan Partisipasi Masyarakat Dalam Pengelolaan Sampah di Kecamatan Jabon, Kabupaten Sidoarjo (Potential of Recycling and Public Participation in Waste Management in Jabon Sub-district, Sidoarjo Regency). *Jurnal Teknik ITS*, 4(1), D11–D15.