

## Modeling of the Waste Management System at the Landfill in Tana Tidung Regency Using a System Dynamic Approach

### Pemodelan Sistem Pengelolaan Sampah Di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Kabupaten Tana Tidung Dengan Pendekatan System Dynamic

Tini Parmawati<sup>1</sup>, Endang Hernawan<sup>2</sup>, Sri Listyarini<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Magister Studi Lingkungan Universitas Terbuka, Jakarta, Indonesia

<sup>2</sup>Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Terbuka, Jakarta, Indonesia

\*surel: [tiniparmawati01@gmail.com](mailto:tiniparmawati01@gmail.com)

#### ABSTRACT

Waste management problems in Indonesia are caused by several factors including inadequate landfills, insufficient composting, and waste management in landfills in the use of the right system. Methods used with a dynamic system modeling approach using powersim software. Waste generation in Tana Tidung District increases as the population increases, with curves shaping Growth's exponential behavior. The results of the study conducted simulations for 33 years (2017-2050) in early 2017 the total population of 23,783 people, waste generation 21,701,987.50 l/year. A pessimistic scenario of 8% waste reduction could extend the life of landfill zones for 5 years until 2031. A moderate scenario of 33.73% waste reduction could extend the life of the landfill zone for 9 years until 2035. An optimistic scenario of 48.336% waste reduction could extend the life of the landfill zone by 18 years until 2044, with curves forming decay behavior.

#### Keywords:

Population,  
Waste Generation,  
Dynamic System,  
Interventions.

Received: January 23<sup>rd</sup> 2023

Revised: February 02<sup>nd</sup> 2023

Published: February 28<sup>th</sup> 2023

#### ABSTRAK

Masalah pengelolaan sampah di Indonesia diakibatkan beberapa faktor diantaranya kurang memadainya tempat pembuangan sampah, pengomposan masih kurang, dan pengelolaan sampah di TPA dalam penggunaan sistem yang tepat. Metode yang digunakan dengan pendekatan pemodelan system dynamic dengan menggunakan perangkat lunak powersim. Timbulan sampah di Kabupaten Tana Tidung meningkat seiring peningkatan jumlah penduduk, dengan kurva membentuk perilaku Eksponensial Growth. Hasil penelitian melakukan simulasi selama 33 tahun (2017-2050) tahun awal 2017 jumlah penduduk 23.783 jiwa, timbulan sampah 21.701.987,50 l/tahun. Skenario pesimis parameter pengurangan sampah 8% dapat memperpanjang umur zona landfill selama 5 tahun hingga tahun 2031. Skenario moderat parameter pengurangan sampah sebesar 33,73% dapat memperpanjang umur zona landfill selama 9 tahun hingga tahun 2035. Skenario optimis parameter pengurangan sampah sebesar 48,336% dapat memperpanjang umur zona landfill selama 18 tahun hingga tahun 2044, dengan kurva membentuk perilaku decay.

#### Kata Kunci:

Jumlah Penduduk,  
Timbulan Sampah,  
Sistem Dinamis,  
Intervensi.

Diterima: 23 Januari 2023

Direview: 02 Februari 2023

Dipublikasi: 28 Februari 2023



## PENDAHULUAN

Sampah perkotaan merupakan salah satu permasalahan aktual yang dihadapi di Indonesia. Seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk maka akan menghasilkan timbulan sampah yang merupakan hasil buangan dari aktifitas manusia, hal ini apabila tidak dilakukan pengelolaan akan berdampak terhadap lingkungan. Banyak penelitian yang sudah dilakukan untuk melakukan analisis terhadap penyebab timbulnya permasalahan dalam pengelolaan sampah di Indonesia. Beberapa masalah dalam pengelolaan sampah di Indonesia diakibatkan oleh beberapa faktor diantaranya perangkat hukum yang tidak tegas, kurang memadainya tempat pembuangan sampah, usaha melakukan pengomposan masih kurang, dan pengelolaan sampah di TPA dalam penggunaan sistem yang tepat [1]. Permasalahan sampah di Indonesia terdiri dari berbagai indikator, yaitu banyaknya jumlah sampah yang dihasilkan, masih rendahnya pelayanan pengelolaan sampah, terbatasnya jumlah tempat pembuangan akhir sampah, institusi yang bertanggung jawab dalam pengelolaan sampah, hingga permasalahan biaya dalam pengelolaan sampah [2].

Kabupaten Tana Tidung tiap tahun jumlah penduduk semakin bertambah, hal ini terlihat dari data yang diperoleh dari Dinas Kependudukan Dan Catatan Sipil Kabupaten Tana Tidung dimana pada Tahun 2017 sebanyak 23.783 jiwa hingga tahun 2021 sebanyak 26.508 jiwa. Data yang ada pada Bidang Persampahan Dinas Lingkungan Kabupaten Tana Tidung, bertambahnya jumlah penduduk di Kabupaten Tana Tidung, setiap tahunnya volume sampah yang masuk ke TPA selalu mengalami peningkatan, hal ini terlihat dari data yang terdapat pada Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Tana Tidung bahwa pada Tahun 2017 timbulan sampah sebanyak. Tahun 2018 sebanyak 6028,15 ton, tahun 2019 sebanyak 6016,93 ton, tahun 2020 sebanyak 6317,72 ton, dan hingga pada tahun 2021 volume sampah mencapai 6605,79 ton. Dengan beberapa fakta yang ada maka sampah akan menjadi permasalahan yang serius di Kabupaten Tana Tidung apabila tidak dilakukan upaya pengelolaan sampah dengan baik, begitupula dengan kondisi TPA yang ada apabila tidak dilakukan pengelolaan sampah secara optimal maka akan menimbulkan permasalahan untuk kedepannya, hal ini dikarenakan beban TPA yang tidak menerima beban timbulan sampah yang masuk ke TPA.

Permasalah sampah di Kabupaten Tana Tidung membutuhkan pengelolaan yang serius dimana kegiatan pengelolaan sampah bersifat dinamis dan kompleks [3], hal ini disebabkan banyak aspek yang harus terlibat dalam pengelolaan sampah, diantaranya kelembagaan, keuangan, pengaturan, teknik operasinal hingga partisipasi masyarakat. Untuk mengupas permasalahan yang ada dapat dilakukan melalui pendekatan pemodelan system pengelolaan sampah di TPA dengan System Dynamic dengan menggunakan aplikasi powersim dimana dengan pemodelan akan membantu diperoleh alternatif maupun skenario pengelolaan sampah dari simulasi model untuk merancang kebijakan serta mempercepat dalam implementasi dan intervensi [4], sehingga diperoleh hasil yang efektif dan efisien dalam pengelolaan sampah di Kabupaten Tana Tidung.

## METODOLOGI

Metode yang digunakan dengan pendekatan pemodelan sistem dinamik. Pada pemodelan sistem dinamis pada tahap awal akan dibangun struktur utama, yaitu Causal Loop Diagram (CLD) dimana pada diagram ini akan mendeskripsikan hubungan simpal sebab akibat atau gambar hubungan antara unsur atau variabel. Tahap selanjutnya akan dibangun struktur kedua, yaitu Stock Flow Diagram (SFD) bentuk simbol-simbol dalam perangkat lunak powersim dimana pada diagram ini memasukkan data numerik ke dalam simulasi model. Terhadap data sekunder yang diperoleh dilakukan pengolahan secara statistik yang kemudian memasukkan data dalam bentuk numerik kedalam simulasi model (SFD) untuk melihat perilaku model, terhadap perilaku model akan dideskripsikan dalam bentuk kalimat. Validasi model secara visual dan uji statistik dengan menggunakan uji penyimpangan rata-rata, yaitu uji Absolute Means Error (AME).

Penelitian ini data yang digunakan berupa data sekunder dan data primer, data sekunder digunakan untuk simulasi model sedangkan data primer digunakan sebagai konfirmasi terhadap pengelolaan sampah di Kabupaten Tana Tidung. Dalam pengambilan data sekunder sumber informasi

yang digunakan yaitu berasal dari Bidang Persampahan Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Tana Tidung untuk memperoleh data time series timbulan sampah minimal tiga tahun terakhir yang masuk ke TPA, serta data primer sebagai konfirmasi terkait dengan pengelolaan sampah di Kabupaten Tana Tidung, misalnya SDM (petugas kebersihan), jumlah fasilitas pengelolaan sampah yang dimiliki dan lain sebagainya. Tahapan yang dilakukan pada penelitian ini dengan cara:

a. Pembuatan Konsep

Jumlah penduduk Kabupaten Tana Tidung berdasarkan data dari Dinas Kependudukan dan Pencatatan Sipil Kabupaten Tana Tidung pada periode juni 2022 berjumlah 27.042 jiwa dan berdasarkan SNI 19-3983-1995 besarnya timbulan sampah berdasarkan jumlah penduduk dapat diklasifikasikan berdasarkan kota, dimana kota dengan jumlah penduduk 100.000–500.000 jiwa termasuk kedalam kota sedang, sedangkan jumlah penduduknya <100.000 jiwa termasuk kedalam kota kecil. Kabupaten Tana Tidung diklasifikasikan berdasarkan kota termasuk kedalam kota kecil, dikarenakan penduduknya <100.000 jiwa.

Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Tana Tidung sebagai instansi pemerintah yang bertanggung jawab dalam pengelolaan sampah rumah tangga dan sampah sejenis rumah tangga di wilayah Kabupaten Tana Tidung. Dengan bertambahnya jumlah penduduk, maka dapat pula meningkatkan timbulan sampah, dimana dengan meningkatnya timbulan sampah akan mengakibatkan peningkatan beban sampah di TPA.

b. Pembuatan Model

Berdasarkan konsep model yang ada kemudian dibuatlah struktur pertama berupa causal loop diagram (CLD) yang merupakan pendeskripsian terhadap hubungan simpal sebab akibat antar unsur atau variabel.

c. Memasukkan Data

Adanya struktur pertama berupa CLD maka selanjutnya akan dibuat struktur kedua yaitu stock flow diagram (SFD) yaitu memasukkan data sebagai komponen model SFD dengan terlebih dahulu menentukan stock (level), flow (rate), auxiliary, dan constant.

d. Simulasi dan Uji Model

Tahap selanjutnya yang akan dilakukan adalah dengan melakukan simulasi terhadap model stock flow diagram (SFD) yang telah terisi dengan data dengan menggunakan tabel waktu dan grafik. Dari hasil simulasi model maka akan diperoleh perilaku model diantaranya exponential growth untuk loop reinforcing atau perilaku model decay untuk loop balancing.

e. Validasi Model

Metode validasi model dengan uji statistik dengan melakukan uji penyimpangan rata-rata, yaitu dengan uji Absolute Means Error (AME).

$$AME = |X_s - X_r| / X_r \times 100\%$$

Keterangan:

$X_s$  = rata-rata data simulasi

$X_r$  = rata-rata data referensi

Tanda | | merupakan harga mutlak yang meniadakan tanda minus hasil pengurangan.

f. Kebijakan Intervensi

Kebijakan intervensi dengan melakukan pengembangan model dengan berbagai skenario pada simulasi model untuk memperoleh strategi arah kebijakan yang tepat dan sesuai untuk pengelolaan sampah di Kabupaten Tana Tidung. Alternatif kebijakan intervensi dalam penelitian menggunakan tiga skenario, yaitu skenario pesimis, moderat, dan optimis.

1) Skenario Pesimis, yaitu membiarkan kondisi sebagaimana kondisi existing atau business as usual (BAU) dengan variabel teknis perencanaan TPA seperti tinggi sel, faktor bentukan lahan dan pemadatan sampah, serta variabel dekomposisi pada simulasi.

2) Skenario Moderat dan Optimis, yaitu dengan melakukan pengelolaan dari sumber oleh masyarakat melalui beberapa variabel diantaranya TPS 3R. Bank Sampah, dan penanganan sampah di masyarakat dengan pengomposan, pembakaran, daur ulang, ditimbun, dibuang ke lahan kosong dan di buang ke saluran air. Sedangkan untuk pengelolaan sampah di TPA menggunakan variabel teknis perencanaan TPA seperti tinggi sel, faktor bentukan lahan dan pemadatan sampah, serta variabel dekomposisi dan pemulung didalamnya, dengan menggunakan beberapa parameter-parameter yang telah ditentukan, berikut ini pada Tabel

1 disajikan nilai parameter yang digunakan pada skenario. Sub model pengelolaan sampah di TPA pada **Gambar 1** merupakan sub model yang digunakan sebagai skenario pesimis dan sub model pengelolaan sampah di masyarakat dan di TPA sebagai skenario moderat dan skenario optimis tertera pada **Gambar 2**.

Tabel 1. Besaran Timbulan Sampah Berdasarkan Klasifikasi Kota

Klasifikasi Kota	Volume (L/orang/hari)	Berat (kg/orang/hari)
Kota Sedang	2,75 – 3,25	0,70 – 0,80
Kota Kecil	2,5 – 2,75	0,625 -0,70

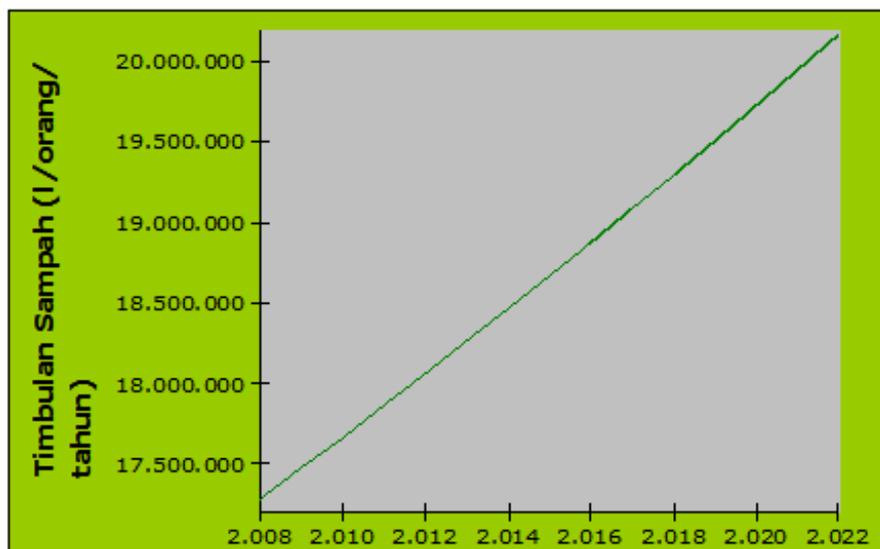
Sumber: SNI 19-3983-1995

Penelitian dilakukan di Kabupaten Tana Tidung yang merupakan kabupaten termuda di Provinsi Kalimantan Utara tepatnya pada Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) secara administratif lokasi TPA terletak di Desa Gunawan Kecamatan Sesayap Kabupaten Tana Tidung Provinsi Kalimantan dan secara geografis lokasi TPA terletak pada titik koordinat 116o54'04,09"BT – 3o33'15,20"LU.

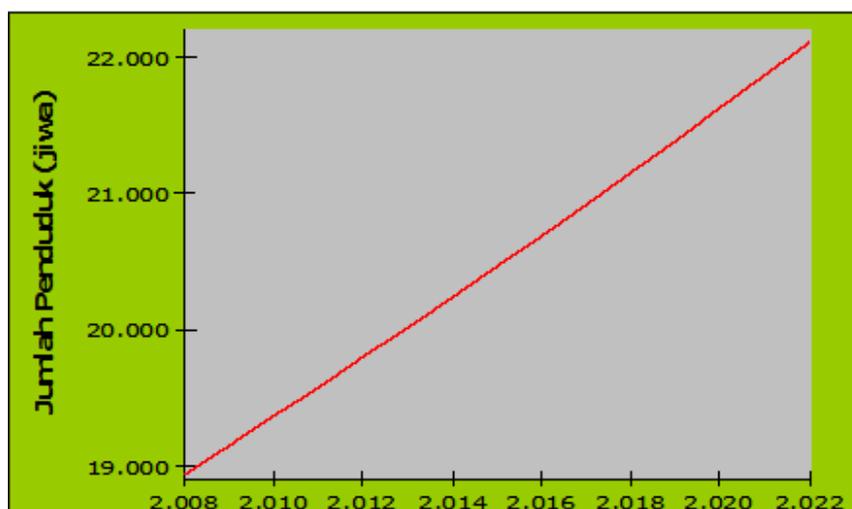
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Simulasi Model Hubungan Volume Timbulan Sampah Terhadap Jumlah Penduduk

Perilaku pertumbuhan penduduk dan timbulan sampah disimulasikan dari kurun waktu 2008-2022 perilakunya *Ekspensial Growth* seperti pada **Gambar 3**, dimana timbulan sampah meningkat seiring dengan peningkatan jumlah penduduk. Grafik yang dihasilkan adalah berbanding lurus, dimana semakin tinggi jumlah penduduk di Kabupaten Tana Tidung, maka timbulan sampah yang dihasilkanpun semakin meningkat tertera pada **Gambar 4**. Meningkatnya laju pertumbuhan penduduk pada gilirannya akan meningkatkan beragam kebutuhan dan sejalan dengan itu akan meningkatkan jumlah buangan/residu atau sampah [5].



Gambar 3. Grafik Simulasi Model Penduduk Kabupaten Tana Tidung Tahun 2008-2022  
Sumber: Hasil Pengamatan, 2022



Gambar 4. Grafik Simulasi Model Timbulan Sampah Kabupaten Tana Tidung Tahun 2008-2022  
Sumber: Hasil Pengamatan, 2022

### Skenario Pesimis

Pada skenario pesimis merupakan skenario membiarkan kondisi sebagaimana kondisi existing atau business as usual (BAU) dengan variabel teknis perencanaan TPA seperti tinggi sel 5 m, faktor bentukan lahan 1 dan pemadatan sampah 0,3846 dengan faktor pengurangan sampah 5%, serta menambahkan variabel dekomposisi 3% pada simulasi. Sektor informal seperti keterlibatan masyarakat dalam mengelola sampah dengan cara melakukan pengelolaan sampah dari sumber tidak terdapat pada skenario pesimis, seperti pengomposan maupun dengan memilah dan mendaur ulang sampahnya dari sumber.

Hasil proyeksi kebutuhan lahan oleh Dinas Lingkungan Kabupaten Tana Tidung pada zona landfill sebesar 1,8 Ha dengan umur zona landfill sampai tahun 2026, maka dari hasil simulasi diperoleh tahun akhir simulasi pada tahun 2031, dimana diperoleh timbulan sampah dari sumber sebesar 25.347.906,36 l/tahun dengan faktor pengurangan sampah sebesar 8%, berasal dari perhitungan perencanaan teknik TPA 5% dan dekomposisi sebesar 3%, timbulan sampah TPA pada tahun 2031 sebesar 13.108,13 m<sup>3</sup>/tahun, kapasitas TPA 1.008,92 m, dengan total lahan dibutuhkan 0,10 Ha. Dari hasil simulasi diperoleh kumulatif total lahan dibutuhkan dari awal tahun 2017 sampai dengan tahun 2031 sebesar 1,87 Ha. Melalui skenario pesimis dari hasil simulasi yang dilakukan terdapat pertambahan umur zona landfill selama 5 tahun yang seharusnya zona landfill berusia hingga 2026 namun dengan faktor pengurangan sampah sebesar 8%, berasal dari perhitungan perencanaan teknik TPA 5% dan dekomposisi sebesar 3% umur zona landfill berakhir pada tahun 2031.

### Skenario Moderat

Pada skenario pesimis merupakan skenario dengan berbagai macam perlakuan, diantaranya menambahkan variabel peranan masyarakat dalam melakukan pengelolaan sampah di sumber yang bertujuan untuk mengurangi timbulan sampah di TPA. Variabel penanganan sampah di masyarakat diantaranya pengomposan 0,7%, dibakar 2%, di daur ulang 20%, ditimbun 1,04%, dibuang ke lahan kosong 2,35%, dibuang ke saluran air 1,75% [6], TPS 3R 3% [7], Bank Sampah 0,2% [8]. Variabel teknis perencanaan TPA tinggi sel 5 m, faktor bentukan lahan 1, pemadatan sampah 0,3846 [9], dekomposisi 0,267% [10] dan variabel pemulung 2,43% [11] pada simulasi. Hasil simulasi diperoleh tahun akhir simulasi pada tahun 2035, dimana diperoleh timbulan sampah dari sumber sebesar 29.147.686,46 l/tahun, timbulan sampah TPA pada tahun 2035 sebesar 9.726,90 m<sup>3</sup>/tahun, kapasitas TPA 748,19 m<sup>2</sup>, dengan total lahan dibutuhkan 0,07 Ha. Dari hasil simulasi diperoleh kumulatif total lahan dibutuhkan dari awal tahun 2017 sampai dengan tahun 2035 sebesar 1,84 Ha. Melalui skenario moderat dari hasil simulasi yang dilakukan terdapat pertambahan umur zona landfill selama 9 tahun yang seharusnya zona landfill berusia hingga 2026 namun dengan faktor pengurangan sampah sebesar 33,737% umur zona landfill berakhir pada tahun 2035.

### Skenario Optimis

Pada skenario optimis merupakan skenario dengan berbagai macam perlakuan, diantaranya menambahkan variabel peranan masyarakat dalam melakukan pengelolaan sampah di sumber yang bertujuan untuk mengurangi timbulan sampah di TPA. Variabel penanganan sampah di masyarakat diantaranya pengomposan 0,8%, dibakar 2,28%, di daur ulang 30%, ditimbun 1,18%, dibuang ke lahan kosong 2,68%, dibuang ke saluran air 2,00% [12], TPS 3R 3,38% [13], Bank Sampah 0,4% [14]. Variabel teknis perencanaan TPA tinggi sel 5 m, faktor bentukan lahan 1, pemadatan sampah 0,3846 [9], dekomposisi 0,59% [10] dan variabel pemulung 5,026% [11] pada simulasi. Hasil proyeksi kebutuhan lahan oleh Dinas Lingkungan Kabupaten Tana Tidung pada zona landfill sebesar 1,8 Ha dengan umur zona landfill sampai tahun 2026, maka dari hasil simulasi diperoleh tahun akhir simulasi pada tahun 2044, dimana diperoleh timbulan sampah dari sumber sebesar 32.207.724,05 l/tahun, timbulan sampah TPA pada tahun 2044 sebesar 5.448,62 m<sup>3</sup>/tahun, kapasitas TPA 419,11 m<sup>2</sup>, dengan total lahan dibutuhkan 0,04 Ha. Dari hasil simulasi diperoleh kumulatif total lahan dibutuhkan dari awal tahun 2017 sampai dengan tahun 2044 sebesar 1,81 Ha. Melalui skenario optimis dari hasil simulasi yang dilakukan terdapat pertambahan umur zona landfill selama 18 tahun yang seharusnya zona landfill berusia hingga 2026 namun dengan faktor pengurangan sampah sebesar 48,336% umur zona landfill berakhir pada tahun 2044 [15].

Berdasarkan ke 3 (tiga) skenario yang dilakukan, yaitu berupa skenario pesimis, skenario moderat, dan skenario optimis menunjukkan kurva menurun atau perilakunya Decay (meluruh) [16]. Sebagai negara terpadat ke 4 (empat), Indonesia dihadapkan pada permasalahan dalam pengelolaan sampah dimana mencapai 200.000 ton/hari, dan merupakan penyumbang sampah plastik kedua terbesar di laut, begitu juga adanya ketidakseimbangan dari buangan yang dihasilkan (sampah) dengan pengangkutan dan pengelolaan, sehingga menjadi suatu permasalahan yang kompleks khususnya pada kota besar yang ada di Indonesia [17].

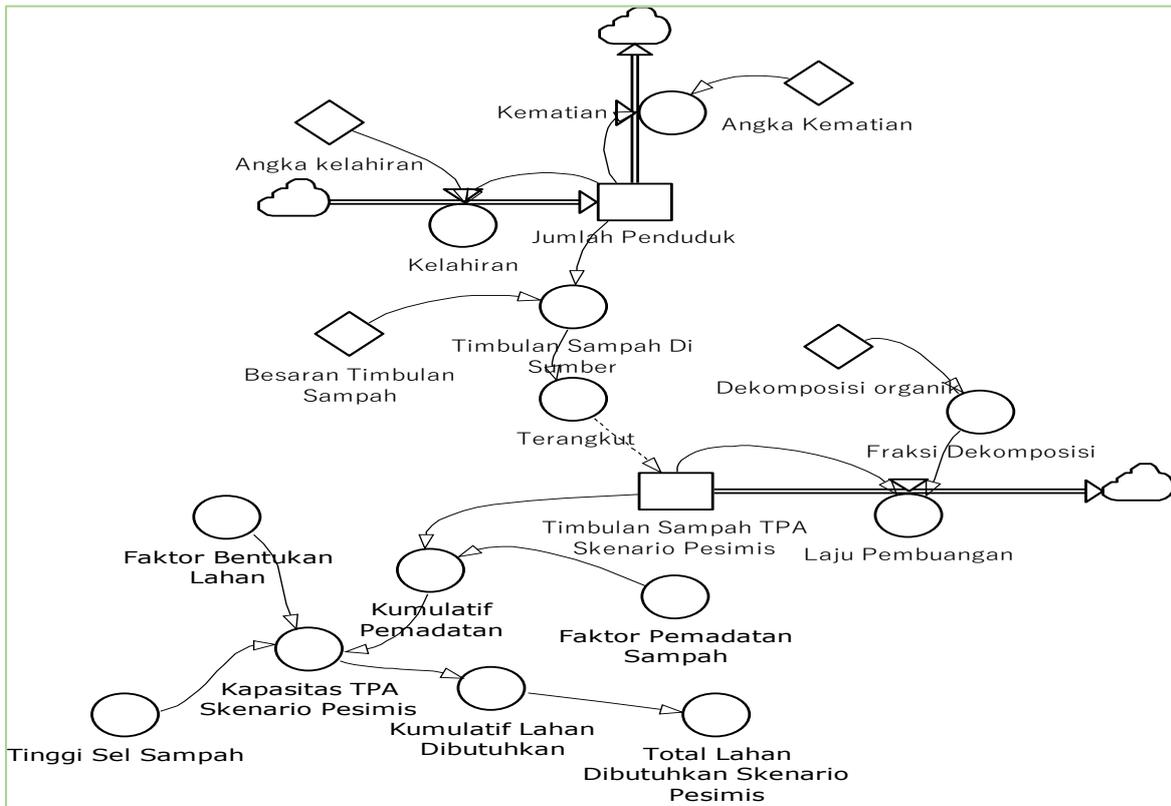
### KESIMPULAN

Timbulan sampah di Kabupaten Tana Tidung meningkat seiring dengan peningkatan jumlah penduduk di Kabupaten Tana Tidung, dengan perilaku yang dihasilkan berupa kurva yang cenderung meningkat atau kurvanya akan membentuk perilakunya Eksponensial Growth. Skenario Pesimis dapat dilakukan dengan parameter pengurangan sampah 8% dapat memperpanjang umur zona landfill selama 5 tahun hingga tahun 2031. Skenario moderat dengan parameter pengurangan sampah sebesar 33,73% dapat memperpanjang umur zona landfill selama 9 tahun hingga tahun 2035. Skenario optimis dengan parameter pengurangan sampah sebesar 48,336% dapat memperpanjang umur zona landfill selama 18 tahun hingga tahun 2044. Ke 3 (tiga) skenario perilakunya menunjukkan kurva menurun atau perilakunya Decay (menyeluruh).

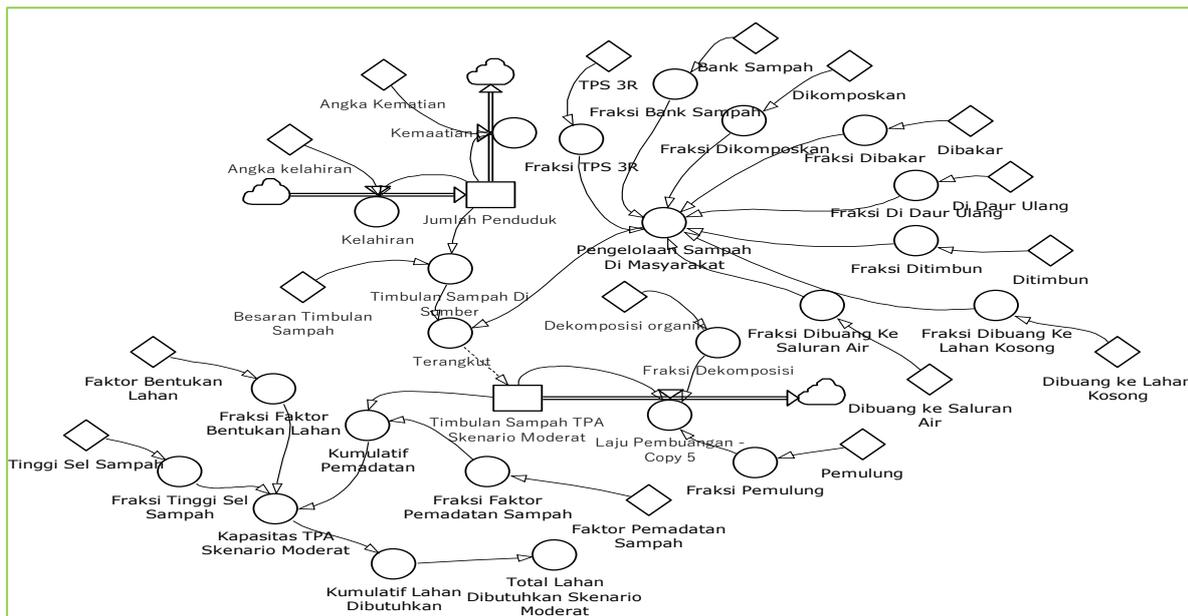
### REFERENSI

- [1] Dinas Lingkungan Hidup Kab. Tana Tidung, "Dokumen Informasi kinerja Pengelolaan Lingkungan Hidup Daerah tahun 2021," Dinas Lingkungan Hidup Kab. Tana Tidung, 2021.
- [2] I. Artika and M. Chaerul, "Model Sistem Dinamik untuk Evaluasi Skenario Pengelolaan Sampah di Kota Depok," *Jurnal Wilayah dan Lingkungan*, vol. 8, no. 3, pp. 261-279, 2020. doi: 10.14710/jwl.8.3.261-279
- [3] E. R. S. Diana, "Pertumbuhan Penduduk dan Keseimbangan Lingkungan," 17 Juni 2021. [Online]. [Accessed 28 November 2022].

- [4] M. Chaerul and I. Artika, "Aplikasi Model Sistem Dinamik untuk Evaluasi Skenario Pengelolaan Sampah di Wilayah Pelayanan Tempat Pengolahan dan Pemrosesan Akhir Sampah (TPPAS) Nambo," *Jurnal Permukiman*, vol. 16, no. 2, pp. 101-115, 2021. doi: [10.31815/jp.2021.16.101-115](https://doi.org/10.31815/jp.2021.16.101-115)
- [5] Direktorat Jenderal Cipta Karya Departemen Pekerjaan Umum, "Rencana Program Investasi Jangka Menengah Bidang PU/Cipta Karya," Direktorat Jenderal Cipta Karya Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta, 2007.
- [6] M. Juansah, "Laju Dekomposisi Karbon pada sampah organik pada perencanaan penutupan tempat pemrosesan akhir (TPA) Kota Banda Aceh," Universitas Islam Negeri Ar-Raniry, Aceh, 2020.
- [7] Kardono, "Integrated Solid Waste Management in Indonesia," in *Proceedings of International Symposium on EcoTopia Science 2007*, 2007.
- [8] A. Kahfi, "Tinjauan Terhadap Pengelolaan Sampah," *Jurisprudentie*, vol. 4, no. 1, pp. 12-25, 2017. doi: [10.24252/jurisprudentie.v4i1.3661](https://doi.org/10.24252/jurisprudentie.v4i1.3661)
- [9] R. Y. Lesmana and G. I. Tawaqal, "Rencana Kebutuhan Luas Lahan Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Tipe Sanitary Landfill untuk Sampah dari Kecamatan Pahandut," *Media Ilmiah Teknik Lingkungan (MITL)*, vol. 6, no. 1, pp. 11-15, 2021. doi: [10.33084/mitl.v6i1.1957](https://doi.org/10.33084/mitl.v6i1.1957)
- [10] E. Nurpagi, M. Ekayani and A. Ismail, "Waste Generation Potential and Household's Willingness to Pay for the Management of Community 3R Waste Treatment Facility (TPS 3R) in Babakan Village, Bogor Regency," *Journal of Natural Resources and Environmental Management*, vol. 12, no. 2, pp. 599-608, 2022. doi: [10.29244/jpsl.12.4.599-608](https://doi.org/10.29244/jpsl.12.4.599-608)
- [11] Priyadi and A. Agung, "Peran Pemulung dalam Pengurangan Volume Sampah di TPA Kupang Kabupaten Sidoarjo," Universitas Brawijaya, Malang, 2019.
- [12] H. P. Putra and A. D. E. Setianingrum, "Peran Pemulung dalam Sistem Pengelolaan Sampah di Tempat Penampungan Sementara (TPS) Sleman Yogyakarta," *Jurnal Industry Xplore*, vol. 7, no. 1, pp. 118-124, 2022. doi: [10.36805/teknikindustri.v7i1.1897](https://doi.org/10.36805/teknikindustri.v7i1.1897)
- [13] Ratri, I. Septihani, C. Meidina and K. E. Sari, "Peran TPST dan TPS 3R dalam Mereduksi Sampah di Kota Batu," Universitas Brawijaya., Malang, 2021.
- [14] A. S. Suryani, "Peran Bank Sampah dalam Efektivitas Pengelolaan Sampah (Studi Kasus Bank Sampah Malang). Vol. 5, No. 1, 71-84.," *Jurnal Aspirasi*, vol. 5, no. 1, pp. 71-84, 2014.
- [15] J. D. Sterman, *System Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*, 2002.
- [16] T. E. B. Soesilo, *Pemodelan Lingkungan (BMP)*, Universitas Terbuka, 2020.
- [17] I. Surjandari, A. Hidayanto and A. Supriatna, "Model Dinamis Pengelolaan Sampah untuk Mengurangi Beban Penumpukan," *Jurnal Teknik Industri*, vol. 11, no. 2, pp. 134-147, 2009. doi: [10.9744/jti.11.2.PP.%20134%20-%20147](https://doi.org/10.9744/jti.11.2.PP.%20134%20-%20147)



Gambar 1. Stock flow diagram (SFD) Sub Model Pengelolaan Sampah di TPA  
 Sumber: Hasil Pengamatan, 2022



Gambar 2. Stock flow diagram (SFD) Sub Model Pengelolaan Sampah di Masyarakat dan di TPA  
 Sumber: Hasil Pengamatan, 2022