



PAPER – OPEN ACCESS

Pemodelan Sistem Pengolahan Sampah di TPA(Tempat Pembuangan Akhir)Toba Samosir dalam System Dynamic

Author : Miranda Stevany Manik Ambarita
DOI : 10.32734/ee.v2i3.759
Electronic ISSN : 2654-704X
Print ISSN : 2654-7031

Volume 2 Issue 3 – 2019 TALENTA Conference Series: Energy & Engineering (EE)



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NoDerivatives 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/).

Published under licence by TALENTA Publisher, Universitas Sumatera Utara



Pemodelan Sistem Pengolahan Sampah di TPA(Tempat Pembuangan Akhir)Toba Samosir dalam *System Dynamic*

Miranda Stevany Manik Ambarita¹

¹*Student of Engineering Management; Faculty of Industrial Engineering
Institut Teknologi Del, Laguboti, Tobasa, Sumatera Utara*

¹mirandambarita63@gmail.com

Abstrak

Paradigma pengelolaan sampah untuk sistem pengolahan sampah di TPA Pintu Bosi yang merupakan satu-satunya TPA kawasan Toba Samosir, masih berada pada tahap kumpul, angkut dan buang serta andalan utama dalam menyelesaikan masalah sampah menggunakan *open dumping system*, mengingat kondisi pelayanan pengangkutan yang masih terlayani masih diangka 13% dari seluruh kawasan Toba Samosir. Dengan memberikan perhatian yang proporsional terhadap penumpukan sampah berbasis waktu dengan menggunakan sistem dinamik dapat menentukan kebijakan sehingga mengantisipasi penumpukan sampah yang ada di TPA Pintu Bosi. Maka dari penelitian ini kebijakan yang paling ideal untuk diterapkan dalam menjawab target dinas terkait untuk mencapai pelayanan kebersihan secara optimal di seluruh kawasan Toba Samosir adalah skenario moderat, sebab output model pada skenario tersebut mampu menangani sampah secara maksimal dengan perolehan sampah terangkut sebanyak 280.723 m³ dan mampu menekan angka beban pencemaran secara signifikan mencapai angka 0.3814 ton di tahun 2030, dengan kebutuhan infrastruktur dan sumber daya bidang persampahan yang dibutuhkan pada tahun 2030 mencakup 101 truk sampah, 816 petugas yang terlibat, 240 bank sampah, 60 TPS 3R, dan membutuhkan dana Rp. 1.617.939.050 untuk penerapan pengolahan sampah secara terpadu.

Kata kunci: Sampah, System Dynamic, Scenario

Abstract

The paradigm of waste management for the waste treatment system at Pintu Bosi landfill, the only landfill in Samosir area, is still in the stage of gathering, transporting and disposing as well as the mainstay in resolving the waste problem using an open dumping system, considering the still underserved condition of transportation services estimated to be 13% of the entire Toba Samosir region. By giving proportional attention to time-based waste accumulation using a dynamic system can determine the policy so as to anticipate the accumulation of garbage at the Bosi Pintu Landfill. So from this study the most ideal policy to be implemented in responding to the related service targets to achieve optimal cleaning services throughout the Toba Samosir area is a moderate scenario, because the output model in this scenario is able to handle garbage optimally with the acquisition of 280.723 m³ of transportable waste and capable pressing the pollution load figure significantly reached 0.3814 tons in 2030, with the infrastructure and resource needs of the waste sector needed in 2030 covering 101 garbage trucks, 816 involved officers, 240 Bank Sampah, 60 TPS 3R, and requiring funds of Rp. 1.617.939.050 for the implementation of integrated waste management.

Keywords: Trash, SystemDynamic, Scenario

1. Pendahuluan

Kabupaten Toba Samosir memiliki luas wilayah 2.021,80 km atau 3,19% dari total luas Provinsi Sumatera Utara. Pertambahan jumlah penduduk, perubahan pola konsumsi, hingga keragaman aktivitas masyarakat yang menimbulkan bertambahnya volume, jenis, dan karakteristik sampah yang semakin beragam dikalangan masyarakat, didukung dengan penetapan Kabupaten Toba Samosir sebagai salah satu sektor pariwisata yang sedang berkembang sebagai upaya untuk memulai percepatan pembangunan menuju masyarakat yang lebih sejahtera, menjadi salah satu faktor penyumbang terhadap peningkatan jumlah volume sampah mengakibatkan muncul persoalan dalam pelayanan kebersihan yakni masalah persampahan.

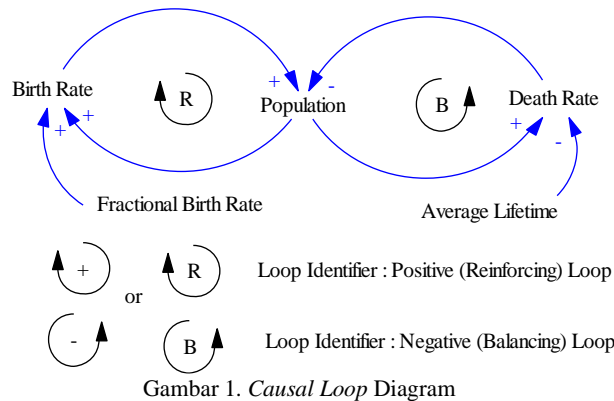
Menurut Undang-Undang No 18 Tahun 2008, tentang Pengelolaan Sampah, sampah merupakan sisa atau buangan kegiatan sehari-hari manusia dan/atau proses alam yang berbentuk padat. Namun buangan yang dihasilkan oleh aktivitas manusia dan hewan karena dianggap sudah tidak berguna dan tidak dikehendaki dapat menjadi sebuah bencana akibat dari jumlahnya yang jika tidak terkendali dan tidak adanya pengolahan yang tepat guna. Adapun data jumlah penduduk yang terlayani masih mencapai 13% sampah yang dihasilkan oleh Kabupaten Toba Samosir berhasil terangkut hingga ke Tempat Pemrosesan Akhir (TPA), sebab minimnya kesadaran masyarakat akan pengolahan akhir sampah yang seiring waktu terus mengalami peningkatan .

2. Metodologi Penelitian

Pada penelitian ini akan digunakan perangkat lunak (software) untuk membangun dan melihat perilaku dari model yang telah dibangun serta mensimulasikannya dalam model sistem dinamik, software yang digunakan adalah Vensim (Ventana Systems) PLE X32 [1]. Vensim merupakan alat bantu yang dapat memudahkan pemodel dalam menerjemahkan bahasa causal loop diagram ke dalam stock flow diagram [2].

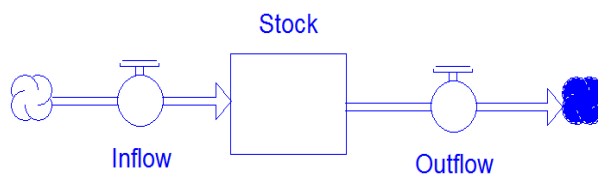
2.1. Causal Loop Diagrams (CLD)

Causal Loop Diagrams (CLD) atau sering disebut diagram sebab akibat yang akan membantu dalam proses memvisualisasikan bagaimana variabel yang berbeda dalam suatu sistem saling berkaitan, menggambarkan proses pemetaan masalah yang berasal dari dunia nyata ke dalam model dunia maya [3].



Gambar 1. Causal Loop Diagram

2.2. Stock Flow Diagrams (SFD)



Gambar 2. Stock and Flow Diagram

Integral Equation : ... (1)

$$\text{Stock}(t) = \int_{t_0}^t [\text{Inflow}(s) - \text{Outflow}(s)] ds + \text{Stock}(t_0)$$

Differential Equation : ... (2)

$$d(\text{Stock})/dt = \text{Net Change in Stock} = \text{Inflow}(t) - \text{Outflow}(t)$$

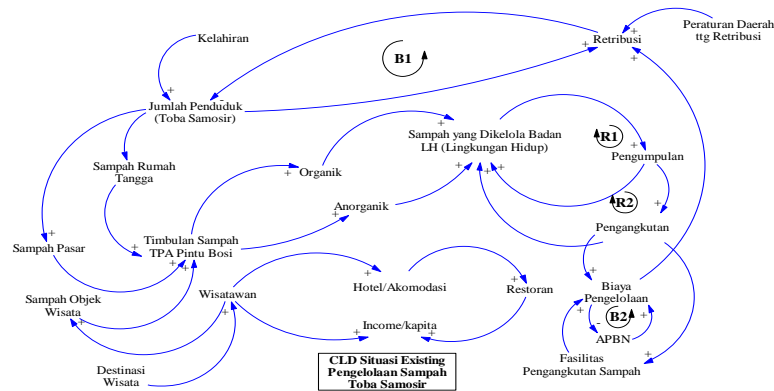
Pemodelan variabel-variabel model berdasarkan data-data yang telah terkumpul akan mempermudah dalam analisis keadaan dan kebijakan yang akan diterapkan dan model digunakan untuk melihat *pattern of behavior* dari variabel yang saling berinteraksi yang ditunjukkan melalui grafik perubahan nilai dari waktu ke waktu [4]. Perubahan tersebut terjadi akibat dari asumsi-asumsi yang digunakan dalam simulasi model [5].

Tabel 1. Fundamental pembentukan model

Komponen	Syarat Klasifikasi	Cara Memasukkan Data
Stock	Kata benda menjelaskan benda atau status	Data awal existing
Flow	Kata kerja menjelaskan aksi atau aktivitas	Persamaan hubungan variabel
Auxiliary	Kata keterangan volume dari flow	Persamaan hubungan variabel
Konstanta	-	Rata-rata dari data time series

3. Hasil dan Pembahasan

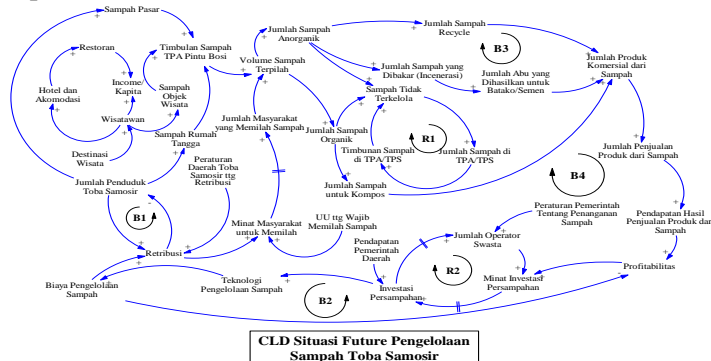
3.1. Identifikasi Sistem Pengolahan Sampah Toba Samosir



Gambar 3. Model CLD Sistem Pengolahan Sampah Kab.Toba Samosir Kondisi Existing

Model CLD (Causal Loop Diagram) pada gambar 3, merupakan struktur model dinamik yang mengidentifikasi variabel dari keseluruhan sistem yang terkait dengan manajemen sampah yang terjadi pada kawasan Toba Samosir, model dinamik manajemen sampah diatas. Dimana untuk sistem pengelolaan persampahan diKabupaten Toba Samosir hingga saat ini masih menggunakan sistem Open Dumping, sampah yang dihasilkan masyarakat yakni sampah pasar, rumah tangga, dan objek wisata dikumpulkan disuatu titik tanpa ada pengolahan lebih lanjut.

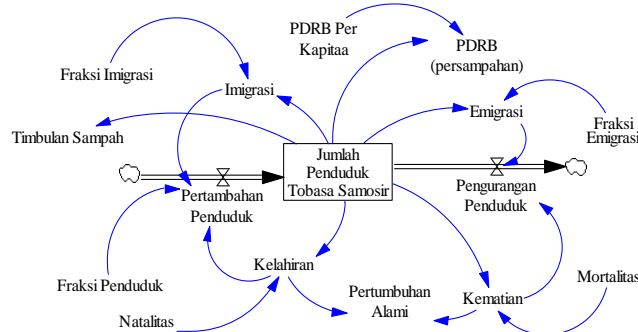
3.2. Identifikasi Sistem TPA Terpadu



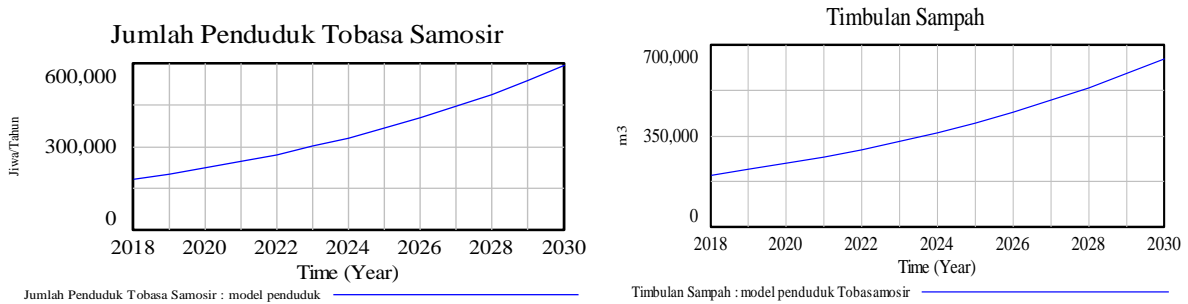
Gambar 4. Model CLD Sistem Pengolahan sampah Kab. Toba Samosir kondisi Future

3.3. Analisis Model Penduduk

Variabel jumlah penduduk Toba Samosir merupakan variabel utama dalam model penggambaran pengaruh jumlah penduduk terhadap penumpukan sampah yang dihasilkan dikawasan Toba Samosir. Adapun Volume produksi sampah atau timbulan sampah per hari juga merupakan perkalian antara indeks sampah per orang per hari dengan jumlah penduduk pada tahun tersebut.



Gambar 5. Stock and Flow Model Teknis Lingkungan Hidup

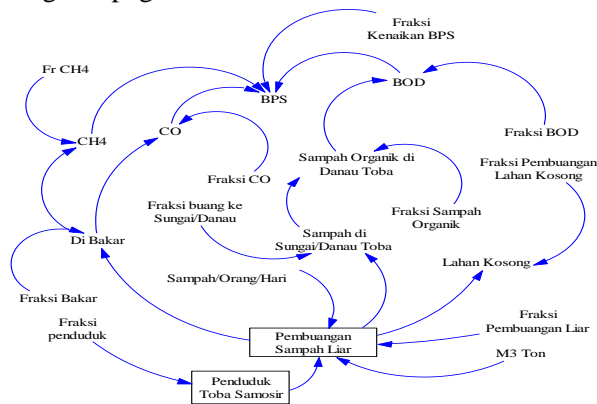


Gambar 6. Hasil Simulasi Jumlah penduduk dan Timbulan Sampah Kab. Toba Samosir

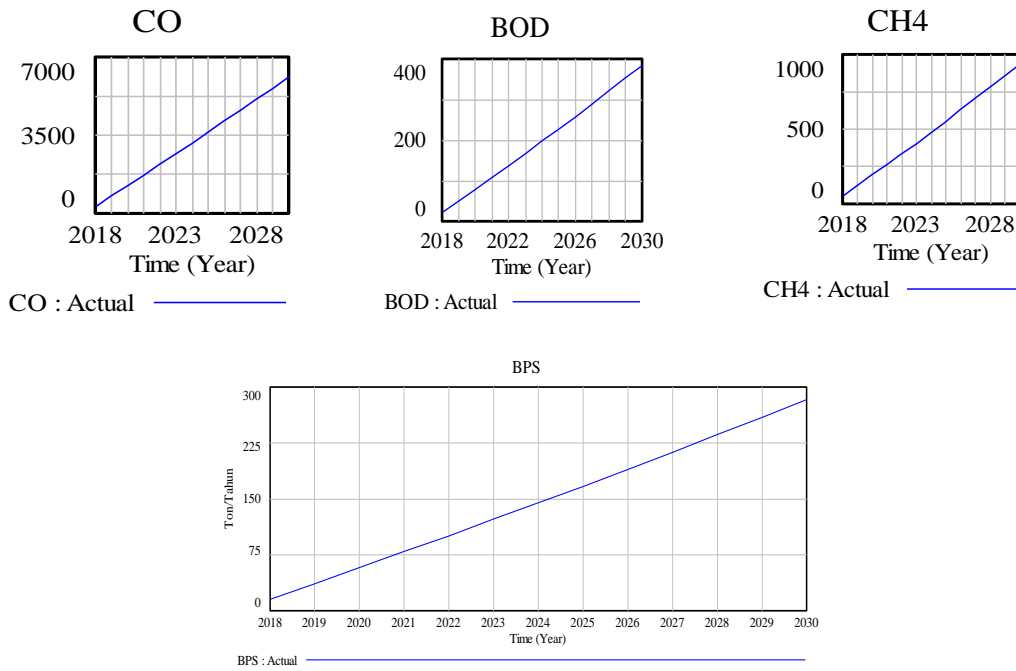
Prediksi timbulan sampah Kabupaten Toba Samosir merupakan hasil perkalian antara timbulan sampah harian masyarakat dengan jumlah penduduk tahun yang dihitung, tren peningkatan volume sampah terjadi dari tahun 2018 hingga tahun 2030, hal tersebut disebabkan oleh faktor peningkatan jumlah penduduk.

3.4. Analisis Model Lingkungan

Berdasarkan olah data, timbulan sampah harian di Kabupaten Toba Samosir saat ini hanya mampu terlayani sebanyak sekitar 13%, maka sisa timbulan sampah yang tidak terangkut oleh seksi pengangkutan kebersihan ke TPA Pintu Bosi dianggap membuang sampag secara liar.



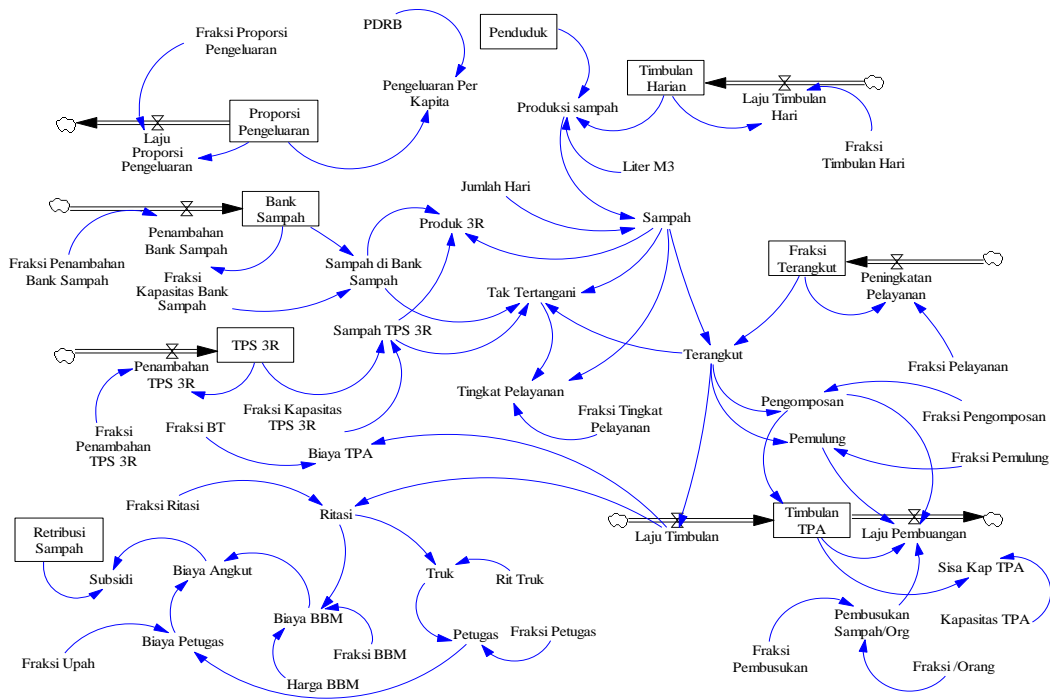
Gambar 7. Causal Loop Diagram Model Lingkungan Hidup



Gambar 8. Hasil Prediksi beban CO, BOD, CH4, dan Beban Pencemaran Sampah (BPS)

Untuk angka beban pencemaran yang dijelaskan pada gambar 8, merupakan hasil dari simulasi variabel sampah yang tidak terlayani sebesar 87%. Dalam simulasi ini batasan yang akan di gambarkan untuk pola masyarakat yang mengolah sampahnya secara pribadi, dilakukan dengan cara dibakar, dibuang pada lahan kosong, dan dibuang pada perairan seperti sungai dan danau. Dengan angka presentase angka dibakar 19,7%, dibuang pada lahan kosong 27,6%, dibuang pada perairan seperti sungai dan danau sebesar 39,15%.

3.5. Model Pengelolaan Sampah



Gambar 9. Stock and Flow Teknis Pengolahan Sampah

Berdasarkan wawancara dengan BDLH (Badan Dinas Lingkungan Hidup) Kab. Toba Samosir, target dalam pemodelan sampah Kabupaten Toba Samosir adalah untuk mencapai kebersihan dan pelayanan persampahan yang maksimal. Oleh karena itu, dalam analisis kebijakan diajukan tentang bagaimana cara mengelola sampah yang efektif dan efisien dalam menyikapi pertumbuhan penduduk Kabupaten Toba Samosir, melalui penerapan sistem pengolahan sampah yang bersifat terpadu, melalui pengaruh pengadaan bank sampah dan TPS 3R.

Adapun skenario kebijakan yang digunakan dalam pemodelan pengolahan sampah menggunakan skenario yang diterapkan pada rentang waktu 2018 hingga 2030. Berikut gambaran perbandingan masing-masing skenario.

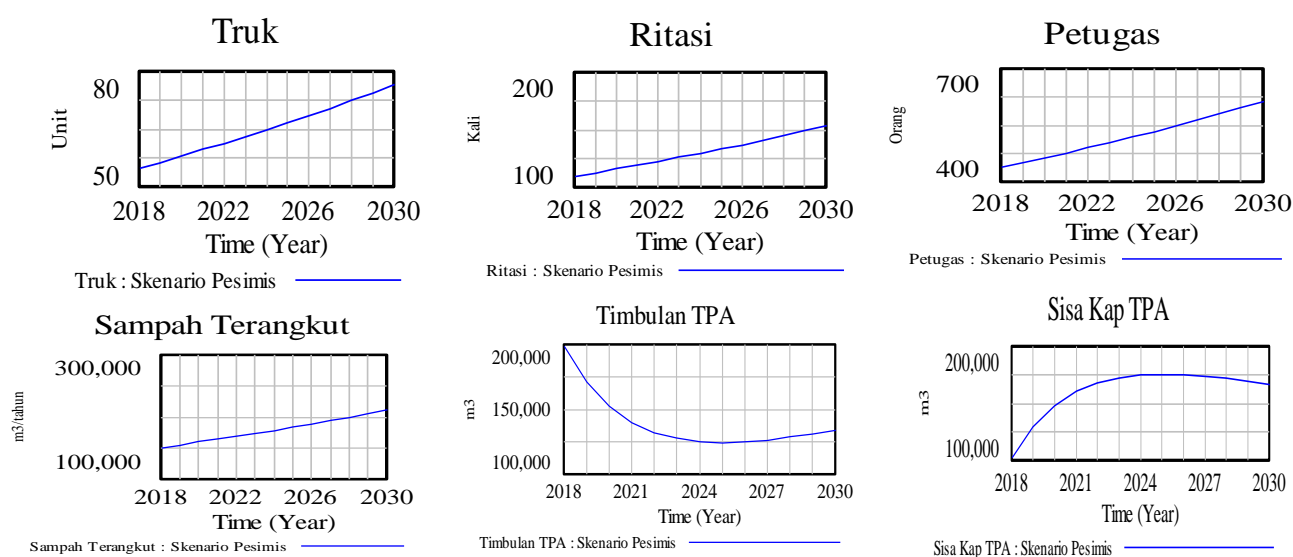
Tabel 2. Skenario Pesimis, Moderat, Optimis

Skenario Kebijakan dan Intervensi Parameter pada Model				
Skenario	Pelayanan Pengangkutan	Pengembangan Sampah Terpadu	Kapasitas Sampah Terpadu	Pengomposan Sampah Terpadu
Pesimis	75% /Tahun dr total timbulan sampah	148 bank sampah, 33 TPS 3R, (tetap)	1,68m ³ /bank Sampah/hr, 5 m3/TPS/hr	30% dari total timbulan sampah
	99,9% /Thn dr total timbulan sampah	(20 bank sampah, 5 TPS 3R,)/Tahun (meningkat)	1,68m ³ /bank Sampah/hr, 5 m3/TPS/hr	
Moderat	18% /Tahun dr total timbulan sampah	(5 bank sampah, 3 TPS 3R) /Tahun (meningkat)	1,68m ³ /bank Sampah/hr, 5 m3/TPS/hr	7,2 % dari total timbulan sampah

Berikut gambaran hasil simulasi setiap skenario yang telah dibangun:

1. Skenario Pesimis

Dalam skenario pesimis pengelolaan sampah di Kabaputen Toba Samosir, di tingkat pelayanan kapasitas pengangkutan sampah adalah sebesar 75% dari total timbulan, Dimana untuk mengelola sampah secara keseluruhan, pada skenario pesimis dibutuhkan program TPS 3R desa untuk mengolah beberapa sampah yang dihasilkan sejumlah KK (Kepala Keluarga) yakni TPS 3R tetap berjumlah 33 unit dan bank sampah berjumlah 148 unit selama periode simulasi untuk 1 unit bank sampah mampu menampung 1,68 m³ per hari sampah, dan kapasitas TPS 3R adalah 5 m3/unit/hari. Berikut hasil simulasi pesimis:



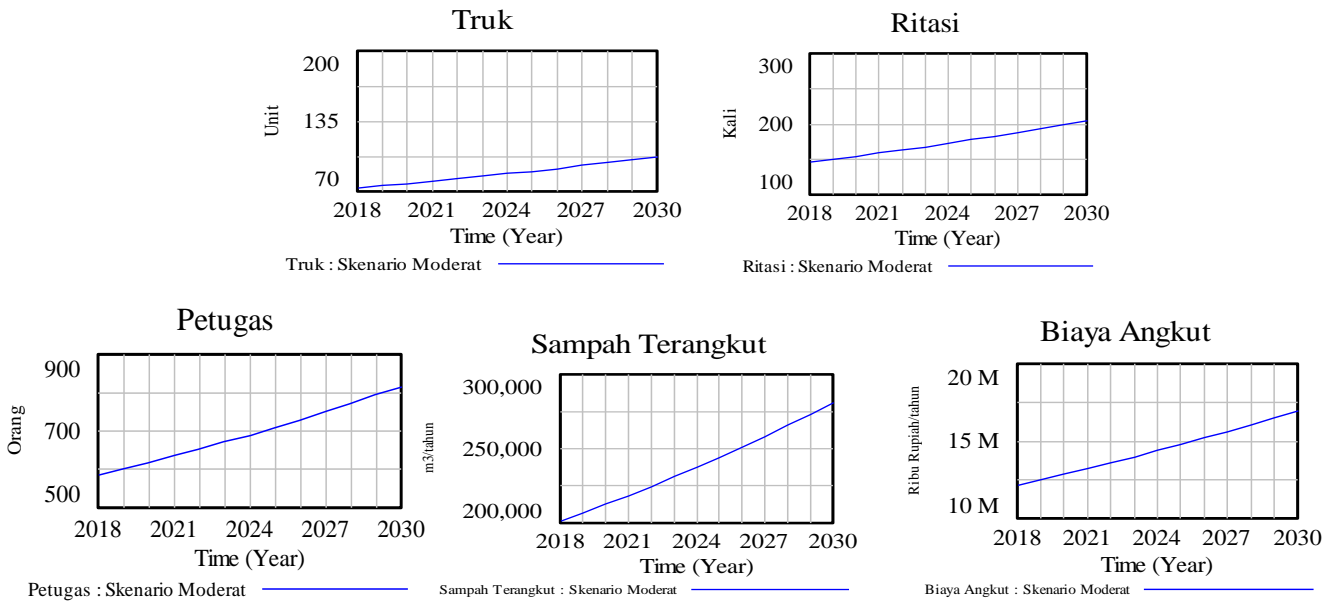
Gambar 10. Grafik prediksi kebutuhan truk, ritasi truk, petugas, banyak sampah terangkut, timbulan dan kapasitas di TPA Pintu Bosi pada skenario pesimis

Pada skenario pesimis ini kontribusi program 3R melalui bank sampah dan TPS 3R terhadap total timbulan sampah dibutuhkan dengan jumlah yang besar karena pada skenario tidak ada pengembangan pelaksanaan

program 3R di Kota Toba Samosir. Total penyerapan kapasitas di bank sampah diperkirakan adalah 90.185,4 m³ sampah per tahun dan kapasitas penyerapan sampah di TPS 3R adalah 60.123,6 m³ sampah/tahun.

2. Skenario Moderator

Kebijakan program 3R dalam skenario moderat lebih kepada target pemerintah dalam peningkatan pengangkutan persampahan di seluruh kawasan Toba Samosir, Target pelayanan persampahan dalam skenario ini adalah 99,9% sepanjang rentang waktu simulasi sehingga dibutuhkan peningkatan tingkat pelayanan pengangkutan sampah. adapun tindakan pengolahan sampah oleh pemerintah yakni dengan mengusahakan penambahan 5 unit TPS 3R dan 20 unit bank sampah setiap tahun dengan kapasitas per unit tetap. Berikut hasil simulasi moderat:

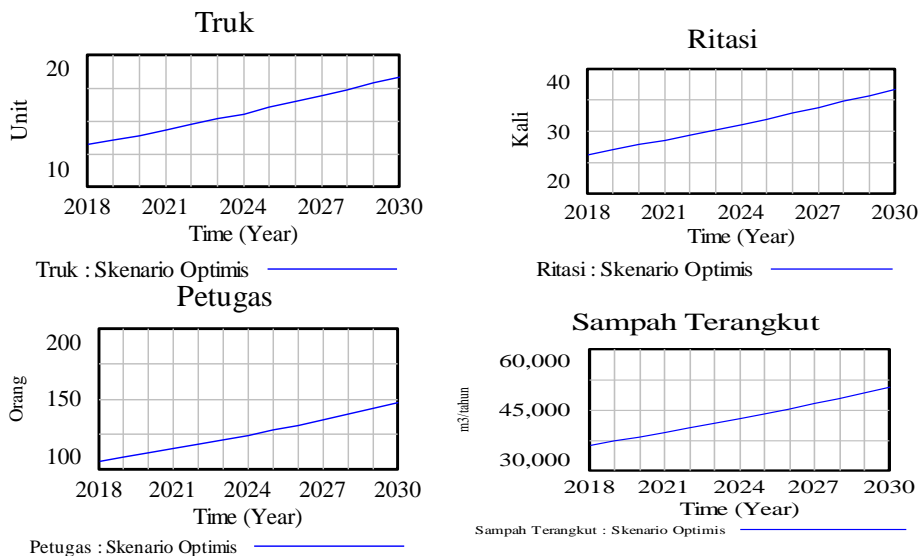


Gambar 11. Grafik prediksi truk, ritasi truk, petugas, biaya angkut yang dibutuhkan dan banyak sampah yang mampu terangkut pada skenario moderat

Untuk mencapai target tingkat pelayanan persampahan 99,9% dari hasil prediksi, dibutuhkan 101 unit truk sampah, 204 ritasi per hari, dan 816 petugas pengangkut sampah. Kebutuhan tersebut menyebabkan peningkatan biaya angkut sampah pada tahun 2030 mencapai 16,91 milyar rupiah. Penerapan skenario moderat ini menuntut penambahan 2 sampai 3 armada angkut sampah, sebanyak 4 sampai 5 kali ritasi truk setiap tahun dan jumlah petugas meningkat antara 17 sampai 23 orang per tahun. Biaya angkut sampah memerlukan penambahan 500 sampai 600 juta rupiah setiap tahun.

3. Skenario Optimis

Dalam skenario optimis kebijakan berfokuskan kepada pengembangan program 3R dengan penambahan bank sampah sebanyak 5 unit dan TPS 3R ditargetkan bertambah sebanyak 3 unit setiap tahunnya dengan daya tampung kapasitas tetap masing-masing 1,68 m³ dan 5 m³ per unit per hari, dan program pengomposan mampu menangani sebesar 7,2 % dari total timbulan sampah terangkut setiap tahunnya. Berikut hasil simulasi optimis:

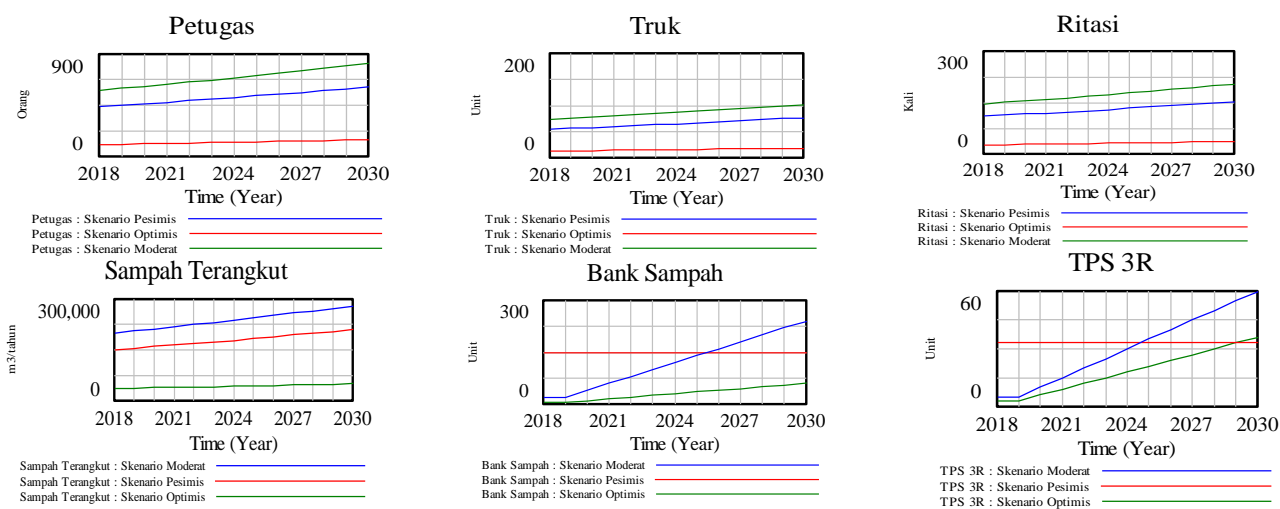


Gambar 12. Grafik prediksi kebutuhan truk, ritasi truk, petugas dan banyak sampah terangkut pada skenario optimis

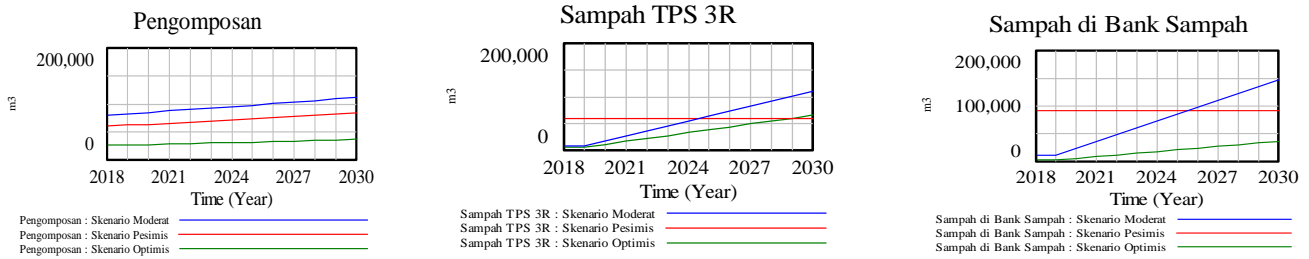
Kontribusi program 3R melalui TPS 3R dan bank sampah dalam penerapan skenario optimis terus meningkat, dimana target pemerintah untuk dapat mereduksi sampah melalui program 3R sebanyak 100% dari total timbulan sampah yang terangkut yakni 18% sudah terkelola dengan baik. Pada tahun 2030, diprediksikan jumlah sampah terkelola di bank sampah sudah mencapai 36.792 m³ dan sebanyak 65.700 m³ sampah melalui TPS 3R. Adapun, jumlah bank sampah pada tahun 2018 dan 2030 sebanyak 5 dan 60 unit, serta TPS 3R masing-masing mencapai 3 dan 36 unit, jumlah daya tampung sampah terpadu yang sangat cukup melayani 18% sampah Kabupaten Toba Samosir dan tidak menutup kemungkinan angka pengangkutan ditingkatkan.

3.6. Perbandingan antar Skenario

Perbandingan hasil simulasi skenario kebijakan pesimis, moderat, dan optimis dilakukan untuk mendapatkan gambaran yang lebih jelas dari kinerja antar skenario yang diterapkan, serta melihat signifikansi perbandingan dan perbedaan interval terhadap model berdasarkan skenario yang telah ditetapkan. Berikut dengan asumsi yang telah dibangun.



Gambar 13. Grafik hasil simulasi petugas, truk, ritasi truk, banyak sampah yang mampu terangkut, Bank sampah dan TPS 3R yang dibutuhkan, Jumlah sampah di Bank sampah dan TPS 3R mampu dikelola pada tiap skenario Pesimis, Moderat, dan Optimis.



Gambar14. Grafik hasil simulasi petugas,truk, ritasi truk, banyak sampah yang mampu terangkut, Bank sampah dan TPS 3R yangdibutuhkan, Jumlah sampah di Bank sampah dan TPS 3R mampu dikelola pada tiap skenario Pesimis, Moderat, dan Optimis (Lanjutan).

Tabel 3. Hasil Simulasi Model Skenario

Variabel	Satuan	Hasil Skenario Kebijakan		
		Pesimis	Moderat	Optimis
Kebutuhan Truk	Unit	77	101	18
Ritasi	Kali	153	204	37
Petugas	Orang	612	816	147
Biaya Angkut	Rp Ribu	12.756.500	16.991.700	3.061.560
Jumlah Bank Sampah	Unit	148	240	60
Jumlah TPS 3R	Unit	33	60	36
Jumlah Sampah terangkut	m ³	210.753	280.723	50.580,8
Sampah di BS	m ³	90.753,6	147.168	36.792
Sampah di TPS 3R	m ³	60.225	109.500	65.700

Pada tabel 3, dijelaskan bahwa, jumlah infrastruktur sarana, prasarana, dan biaya pada skenario moderat memiliki jumlahpaling besar dan signifikan dari tahun ke tahun, juga pada skenario optimisdan pesimis mengalami tren naik, namun tidak signifikan dibandingkan dengan skenario yang lain. Hal ini cukup menggambarkan bahwa dengan penerapan program 3R secara optimal dalam melakukan pengelolaan sampah secara optimal, hal ini sejalan dengan data grafik jumlah sampah yang mampu ditangani melalui program Bank Sampah dan TPS 3R menjadi upaya pengurangan beban pengangkutan sampah ke TPA dan termasuk optimalisasi aktivitas pengomposan sampah di pembuangan akhir juga dapat mengurangi pemakaian lahan di Pintu Bosi.

4. Sistemasi Pengelolaan Sampah

Dalam penelitian ini untuk sampah yang dihasilkan Toba Samosir berjenis organik akan diolah menjadi produk pupuk kompos di masing-masing titik TPS 3R dan untuk sampah berjenis anorganik akan diolah menjadi produk turunan sampah yakni plastik cacah di masing-masing titik Bank Sampah.

Tabel 4. Hasil Kebijakan Pesimis terhadap biaya dan lingkungan

No.	Sistem Pengolahan (Skenario Pesimis)	Pengaruh	
		Cost (Rp.)	Enviroment / BPS (Ton/Tahun)
1.	148 Bank Sampah	8.774.365.000	± 10,398
2.	33 TPS 3R	2.852.612.730	Ton /Tahun
	Total	11.626.977.730	-

Tabel 5. Hasil Kebijakan Moderat terhadap biaya dan lingkungan

No.	Sistem Pengolahan (Skenario Moderat)	Pengaruh	
		Cost (Rp.)	Enviroment / BPS (Ton/Tahun)
1.	20 Bank Sampah	1.185.725.000	± 0.3814
2.	5 TPS 3R	432.214.050	Ton /Tahun
	Total	1.617.939.050	-

Tabel 6. Hasil Kebijakan Optimis terhadap biaya dan lingkungan

No.	Sistem Pengolahan (Skenario Optimis)	Pengaruh	
		Cost (Rp.)	Enviroment / BPS (Ton/Tahun)
1.	5 Bank Sampah	296.431.250	± 362,172
2.	3 TPS 3R	259.328.430	Ton/Tahun
	Total	555.759.680	-

Berdasarkan data tabel 4, skenario pesimis merupakan skenario yang membutuhkan dana paling besar yakni sebanyak Rp.11.626.977.730 Rupiah, yakni Rp. 8.774.365.000,- untuk pembangunan sebanyak 148 unit Bank Sampah dan Rp.2.852.612.730,- pembangunan 33 unit TPS 3R. Hal ini dikarenakan dalam skenario ini tingkat pelayanan kapasitas pengangkutan sampah sebesar 75% mampu ditangani dengan jumlah fasilitas tersebut, tanpa penambahan unit tiap tahunnya. Untuk skenario moderat dan pesimis dilakukan penambahan fasilitas secara bertahap tiap unit setiap tahun, untuk menambah peluang pelayanan pengolahan sampah secara keseluruhan di Kab. Toba Samosir, masing-masing skenario membutuhkan dana investasi sebesar Rp. 1.617.939.050 dan Rp. 555.759.680, angka biaya yang cukup realistis dalam pengadaan sistem pengolahan sampah bertepatan sistem terpadu.

Dari keseluruhan skenario, yang memiliki dampak yang sangat signifikan terhadap lingkungan, berada pada skenario moderat dimana mampu menekan jauh angka pencemaran hingga diangka sangat rendah, namun untuk mencapai hal tersebut sulit untuk dicapai, karena membutuhkan hal yang sangat kompleks. Namun dengan penerapan skenario optimis, peluang dapat terealisasi sangat besar melihat terbatasnya kemampuan, fasilitas, dan dana. Namun skenario ini mampu menekan angka BPS secara real, karena dapat dilakukan secara bertahap.

4. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan hasil simulasi model dinamik pengelolaan sampah Kabupaten Toba Samosir tahun 2018-2030 maka dapat ditarik kesimpulan bahwa:

1. Berdasarkan dari analisis kebutuhan Kabupaten Toba Samosir, untuk mencapai kebersihan dengan peningkatan pelayanan maka skenario kebijakan yang paling ideal untuk diterapkan adalah skenario moderat, yakni mampu menangani persoalan sampah lebih maksimal dengan perolehan sampah terangkut sebanyak 280.723 m³ dan mampu menekan angka beban pencemaran secara signifikan mencapai angka 0.3814 ton di tahun 2030, dengan kebutuhan infrastruktur dan sumber daya bidang persampahan pada tahun 2030 mencakup 101 truk sampah, 816 petugas, 240 bank sampah, 60 TPS 3R, dan membutuhkan dana investasi sebesar Rp. 1.617.939.050 untuk penerapan pengolahan sampah secara terpadu.
2. Namun untuk kondisi pencegahan timbulan sampah yang semakin memburuk, skenario yang paling tepat untuk menekan angka pencemaran dapat dilakukan perbaikan secara bertahap melalui pelayanan pengangkutan sebesar 18%, maka skenario terbaik yang dapat digunakan yakni skenario optimis sebab kemungkinan terealisasinya kebijakan ini lebih besar oleh pemerintah dinas terkait, yang mampu menangani permasalahan beban pencemaran akibat sampah sebesar 362,17 ton/tahun, dengan perolehan sampah terangkut sebanyak 50.580,8 m³ di tahun 2030, dan infrastruktur dan sumber daya bidang persampahan yang dibutuhkan mencakup 18 truk sampah, 147 petugas pengangkutan, 60 bank sampah, 36 TPS 3R dan dana yang dibutuhkan dalam penerapan pengolahan sampah dengan konsep terpadu sebesar Rp. 555.759.680.

Saran yang diberikan adalah:

1. Sebagaimana kondisi Kabupaten Toba Samosir yang belum memiliki bank sampah yang berperan dalam mengurangi sampah anorganik yang dihasilkan oleh warga, diharapkan pengadaan Bank Sampah dan TPS 3R merupakan salah satu alternatif yang dapat direalisasikan melalui kerja sama khususnya dalam pendanaan antara pemerintah dan program hibah dana melalui *Corporate Social Responsibility* (CSR) perusahaan sekitar Kabupaten Toba Samosir, didukung dengan sosialisasi kepada masyarakat agar sistem pengelolaan dilakukan secara sistematis dan masif dengan menggerakkan partisipasi masyarakat yang dilengkapi fasilitas.
2. Permasalahan sampah khususnya Kabupaten Toba Samosir cenderung timbul karena belum kuatnya mental sadar terhadap lingkungan, diharapkan melalui program Pemerintah Kabupaten dan Kementerian Pariwisata seperti Program *public awareness* melalui kegiatan Komunikasi, Informasi dan Edukasi (KIE), baik melalui jalur formal maupun informal untuk menjalin kerjasama yang baik, Penguatan Peran Pemuka Adat dan Agama,

- sehingga masyarakat Kab. Toba Samosir memiliki kesadaran dalam pengelolaan (pengurangan dan penanganan) sampah.
3. Butuhnya dukungan Badan terkait dalam penerapan Inovasi dan Teknologi sebagai solusi dari pengelolaan sampah khususnya Kawasan Toba Samosir, seperti (Biogas, Incinerator, PDU, Circular Economy) melalui kerjasama dengan mitra strategis seperti IGES (*Indonesian Gynecology Endoscopy Society*) dalam bentuk *Pilot Project* (tempat pengolahan sampah percontohan yang dirancang sebagai *trial*, untuk menguji keefektifan dan dampak program) yang sesuai dengan potensi lokal.
 4. Konsep peningkatan minat pemilahan sampah dapat diterapkan melalui teknologi, yakni pada penelitian ini perlu disempurnakan dengan kerjasama melakukan perancangan sebuah aplikasi bank sampah yang dapat diterapkan khususnya Kab. Toba Samosir sehingga mampu memudahkan dalam penukaran sampah yakni memperoleh informasi harga sampah hingga merekap penjualan sampah yang dilakukan masyarakat.

Referensi

- [1] Forrester, J.W. (1961), Principles of Systems. MIT Press
- [2] Sterman J. 2000. Business Dynamics: System Thinking and Modeling for a Complex World. Bostong (US): McGraw Hill.
- [3] Borshchev, A., and Filippov, A. From System Dynamics and Discrete Event to Practical Agent Based Modeling: Reasons, Techniques, Tools The 22nd International Conference of the System Dynamics Society. Oxford, England, 2004
- [4] Kholil. 2005. Rekayasa model sistem dinamik pengelolaan sampah terpadu berbasis nirlimbah (zero waste) studi kasus di Jakarta Selatan [disertasi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- [5] Razii Abraham, 2017. Model Simulasi Dinamik Pengelolaan Sampah Padat Permukiman Berbasis Program 3R Di Kota Bogor. Fakultas Ekonomi Dan Manajemen Institut Pertanian Bogor.