

Pengelolaan Sampah Perkotaan dengan Metode Dinamis di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Bestari Probolinggo

Giovanni Dakpati Mentaya Lukas¹, Naniek Ratni J.A.R²

^{1,2}Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur, Surabaya, Indonesia

Email: naniktupn@yahoo.com

Abstract

Increased waste generation is directly related to the increase in the number of population. Increasing waste generation make this issue needs serious attention from government so that garbage does not piled high in landfill. This study's purpose to estimate the reduction of waste generation and the City Probolinggo sourced from city waste for 10 years based on simulation results. Data was analyzed using software stella 9.0. The results that waste was entered to Landfill Bestari Probolinggo is of 0,20 kg/people/day. Waste was dominated by organic waste with a proportion of 73,83%, while the inorganic was amounted to 26,17%. The Recycling Scenario has the largest waste reduction. Waste reduction of Recycling scenario in Probolinggo City in 2032 was increased to 244,09 ton/year (220,09 ton reduction in composting house and 23,17 ton reduction in solid waste banks). The realistic improvement of recycling scenario involved with improvement scenario to added composter and waste banks facilities with comparison 70%:30%. Improvement for the scenario was selected by added composter and costumer of solid waste bank. Individual composter needed as much as 84 units and 570 customers of solid waste bank. In 2032, the addition of these facilities increased the reduction with 475,67 tons/year or 2,19 greater than existing conditions.

Keywords: *Dynamic Model, Waste Management, Improvement Scenario*

Abstrak

Peningkatan timbulan sampah di perkotaan berkaitan langsung dengan peningkatan jumlah penduduk. Semakin meningkatnya timbulan sampah perlu mendapatkan perhatian dari pemerintah agar sampah tidak menumpuk terlalu banyak di TPA. Penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi timbulan dan menghitung potensi reduksi sampah Kota Probolinggo selama 10 tahun berdasarkan hasil simulasi model dinamis. Data di analisa menggunakan software stella 9.0. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sampah yang masuk ke TPA Bestari Probolinggo adalah sebesar 0,20 kg/jiwa/hari. Sampah didominasi oleh sampah organik dengan proporsi sebesar 73,83 % sedangkan sampah anorganik sebesar 26,17 %. Pengolahan dengan reduksi sampah terbesar adalah Daur Ulang. Reduksi sampah daur ulang di Kota Probolinggo tahun 2032 meningkat menjadi 244,09 ton/tahun yang terdiri dari 220,09 ton/tahun reduksi di rumah kompos dan 23,17 ton/tahun reduksi di bank sampah. Alternatif pengembangan pengolahan daur ulang yang paling realistis yaitu dengan alternatif pengembangan penambahan fasilitas komposter:bank sampah dengan perbandingan 70%:30%. Alternatif pengembangan menggunakan penambahan fasilitas komposter dan jumlah nasabah bank sampah. Jumlah komposter sebanyak 84 unit serta jumlah nasabah menjadi 570 nasabah bank sampah. Pada tahun 2032 penambahan fasilitas tersebut meningkatkan reduksi sampah sebesar 475,67 ton/tahun atau 2,19 kali lebih besar dibandingkan kondisi eksisting.

Kata Kunci: Model Dinamis, Pengelolaan Sampah, Pengembangan Skenario

1. PENDAHULUAN

. Perkembangan kota yang terus berjalan di iringi dengan meningkatnya jumlah penduduk, total penduduk di Kota Probolinggo sebanyak 239.024 jiwa (BPS Probolinggo). Jumlah itu terus bertambah dari tahun ke tahun. Seiring bertambahnya jumlah penduduk membuat jumlah sampah yang dihasilkan juga ikut bertambah. Dengan banyaknya penduduk Kota Probolinggo tidak dapat terhindari dari masalah persampahan, hal ini akan berdampak pada meningkatnya timbunan sampah maka pengelolaan sampah yang baik sangat diperlukan agar tidak terjadi penurunan kualitas lingkungan akibat masalah tersebut. Sistem persampahan Kota Probolinggo bermuara pada Tempat Pembuangan Akhir (TPA) yang berada di TPA Bestari di kelurahan Mayangan, Probolinggo. Di TPA inilah sampah yang dihasilkan penduduk kota Probolinggo dikumpulkan. Luas total TPA Kota Probolinggo adalah 4,2 ha. Lahan efektif seluas 4,2 ha itu sebenarnya sudah hampir melebihi batas kemampuan menampung sampah. Tidak sebandingnya sampah yang dikelola dengan sampah yang datang membuat TPA semakin hari semakin dipenuhi oleh sampah.

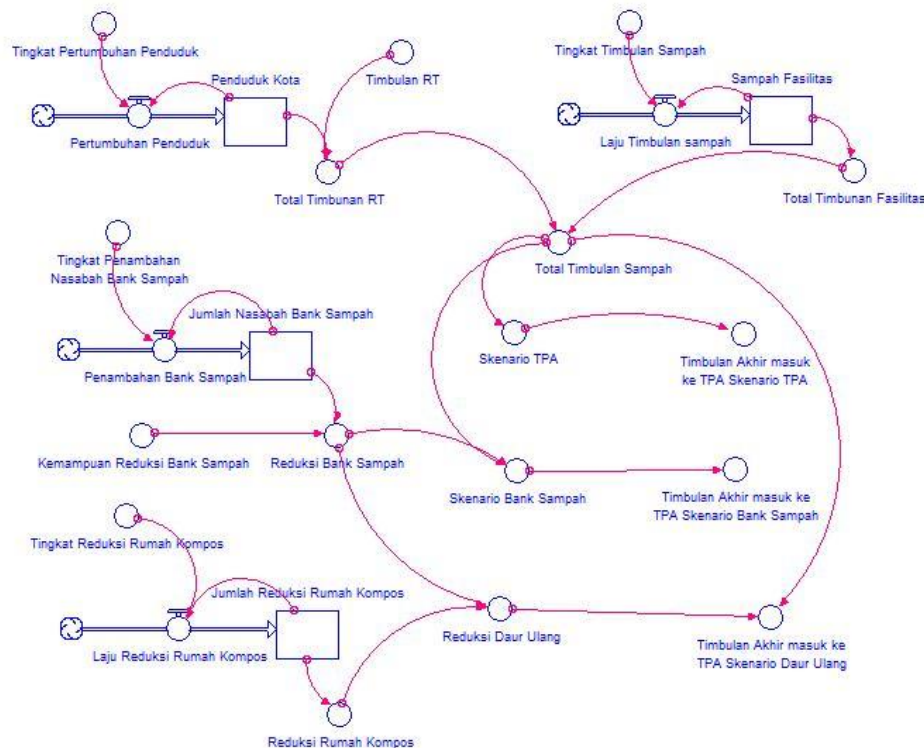
Berdasarkan permasalahan yang dipaparkan di atas, maka perlu dilakukan penelitian yang bertujuan untuk dibuat sebuah model dinamis kondisi saat ini dan alternatif utilisasi sampah yang semakin menumpuk di TPA sehingga dapat menjadi salah satu pertimbangan usulan strategis bagi pemerintah kota dalam menangani produksi sampah yang semakin tinggi.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Tahapan Penelitian

Langkah pertama yang dilakukan adalah Formulasi dan simulasi model dinamis. Formulasi dan simulasi model dilakukan dengan berdasar pada konseptualisasi model yang telah dibuat. Kemudian diformulasikan secara matematis hubungan antar variabel tersebut sesuai stock dan flow. Formulasi struktur model sistem dinamik sangat tergantung dari penentuan variabel yang dihitung, variabel penentu dan input data yang dirangkai menjadi suatu alur sistem. Formulasi model disesuaikan dengan pencapaian tujuan setelah simulasi model dilakukan.

Model yang dibuat dinamis yaitu populasi penduduk, jumlah timbunan sampah, jumlah reduksi sampah. Dinamis nya timbunan sampah ditentukan oleh dinamis nya jumlah populasi penduduk. Dinamis nya jumlah reduksi sampah ditentukan dari laju peningkatan reduksi sampah tiap tahun. Formulasi dan causal loop tersebut dapat digunakan sebagai dasar pembentukan struktur model dinamik sehingga lebih mudah dalam pengerjaan nya.



Gambar 1. Formulasi sub model reduksi sampah
Sumber : Hasil Penelitian, 2022

2.2 Tahap Analisis Data

Tahap selanjutnya, data yang digunakan untuk penelitian dikumpulkan, yang kemudian di input ke dalam perangkat lunak Stella 9.0. Sistem pengelolaan sampah di TPA ini dituangkan dalam struktur model sistem dinamik analisis causal loop dengan menggunakan software. Pengolahan sampah yang digunakan yaitu tanpa pengolahan atau kondisi TPA, pengolahan dengan bank sampah dan pengolahan daur ulang. Pengolahan yang memiliki jumlah reduksi sampah paling besar akan dibuat struktur model dinamisnya.

Beberapa langkah harus dilakukan dalam tahap analisa data, antara lain pembuatan permodalan dan validasi model dinamis. Variabel - variabel yang sudah diidentifikasi selanjutnya dituangkan ke dalam kerangka diagram sebab akibat disini CLD digunakan untuk mengetahui hubungan sebab akibat antar variabel (An & W,2013). Setelah model jadi, maka dilakukan tahap verifikasi dan validasi agar model sesuai dengan sistem yang nyata. Validasi model dapat dilakukan dengan menguji struktur model dan perilaku model. hasil simulasi perlu divalidasi dengan sistem atau data aktual, yaitu dengan menggunakan perbandingan rata-rata (E1). Hasil simulasi dari model yang dikembangkan dapat dikatakan valid apabila nilai E1 kurang dari 5%. Maka jika $E1 > 5\%$ dianggap tidak valid (Barlas, 1996). Data yang divalidasi dalam penelitian ini adalah data timbunan sampah. Hal yang harus dilakukan adalah melakukan simulasi terhadap timbunan sampah. Untuk mengetahui hasil nilai simulasi jumlah timbunan sampah, langkah selanjutnya adalah menghitung rata-rata dari nilai simulasi timbunan sampah ini.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Simulasi Reduksi Pengolahan Sampah

Pengolahan di Kondisi Existing

Kondisi existing TPA merupakan pengolahan sampah dengan cara penimbunan di TPA tanpa daur ulang. Skenario TPA tidak memasukkan kegiatan reduksi sampah sehingga diasumsikan seluruh sampah yang dihasilkan di sumber akan langsung di proses di TPA. Hasil kondisi existing TPA tahun 2032 menunjukkan total sampah di sumber sebesar 25866 ton/tahun. Kondisi existing TPA memiliki nilai yang paling besar dari skenario lainnya terutama untuk total sampah di sumber. Hasil simulasi menunjukkan bahwa total sampah di sumber naik setiap tahun.

No	Tahun Proyeksi	Tahun	Total Sampah di Sumber (ton/tahun)	Reduksi Sampah	Total Sampah yang masuk TPA (ton/tahun)
1	1	2023	24,644	0	24,644
2	2	2024	24,775	0	24,775
3	3	2025	24,908	0	24,908
4	4	2026	25,042	0	25,042
5	5	2027	25,177	0	25,177
6	6	2028	25,313	0	25,313
7	7	2029	25,450	0	25,450
8	8	2030	25,588	0	25,588
9	9	2031	25,726	0	25,726
10	10	2032	25,866	0	25,866

Sumber : Hasil Penelitian, 2022

Pengolahan dengan Bank Sampah

Pengolahan bank sampah merupakan daur ulang dengan partisipasi masyarakat melalui program bank sampah. Hasil simulasi pengolahan dengan bank sampah tahun 2032 menunjukkan total sampah yang masuk ke TPA sebesar 25843 ton/tahun. Pengolahan bank sampah ini memiliki nilai reduksi lebih besar dari kondisi existing TPA. Hasil simulasi menunjukkan bahwa total sampah di sumber, reduksi sampah, dan timbunan akhir yang masuk ke TPA naik setiap tahun. Efek kenaikan ini diakibatkan dari feedback positif dalam sistem.

No	Tahun Proyeksi	Tahun	Total Sampah di Sumber (ton/tahun)	Reduksi Sampah	Total Sampah yang masuk TPA (ton/tahun)
1	1	2023	24,644	21.18	24,623
2	2	2024	24,775	21.39	24,754
3	3	2025	24,908	21.61	24,886
4	4	2026	25,042	21.82	25,020
5	5	2027	25,177	22.04	25,155
6	6	2028	25,313	22.26	25,291
7	7	2029	25,450	22.48	25,428
8	8	2030	25,588	22.71	25,565
9	9	2031	25,726	22.94	25,703

10	10	2032	25,866	23.17	25,843
----	----	------	--------	-------	--------

Sumber : Hasil Penelitian, 2022

Pengolahan dengan Daur Ulang

Pengolahan dengan daur ulang merupakan perlakuan daur ulang berdasarkan potensi reduksi sampah. Pengolahan dengan daur ulang ini memasukkan kegiatan reduksi sampah melalui bank sampah dan rumah kompos. Hasil simulasi pengolahan dengan daur ulang tahun 2032 menunjukkan total sampah di sumber sebesar 25633 ton/tahun dengan reduksi sampah sebesar 244,09 ton/tahun. Pengolahan dengan daur ulang ini diperkirakan memiliki nilai lebih kecil dari kondisi existing TPA terutama untuk total sampah yang masuk ke TPA. Pengolahan dengan daur ulang memiliki nilai reduksi sampah yang lebih tinggi dibandingkan kondisi existing TPA dan pengolahan dengan bank sampah.

No	Tahun Proyeksi	Tahun	Total Sampah di Sumber (ton/tahun)	Reduksi Sampah	Total Sampah yang masuk TPA (ton/tahun)
1	1	2023	24,644	160.81	24,483
2	2	2024	24,775	168.33	24,614
3	3	2025	24,908	176.23	24,740
4	4	2026	25,042	184.53	24,866
5	5	2027	25,177	193.26	24,992
6	6	2028	25,313	202.43	25,120
7	7	2029	25,450	212.08	25,248
8	8	2030	25,588	222.22	25,376
9	9	2031	25,726	232.88	25,504
10	10	2032	25,866	244.09	25,633

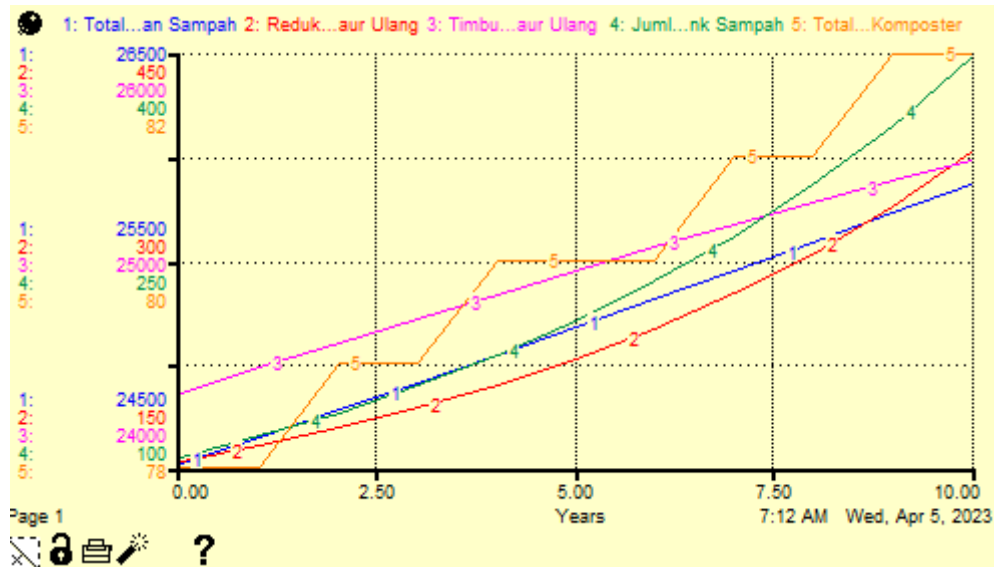
Sumber : Hasil Penelitian, 2022

3.2 Alternatif Pengembangan Pengolahan

Alternatif pengembangan yang digunakan didasarkan pada kondisi yang memungkinkan untuk dikontrol oleh Pemerintah Kota sehingga harapan reduksi sampah di TPA juga bisa bertambah. Alternatif pengembangan yang dilakukan antara lain: Penambahan unit komposter, Penambahan unit bank sampah, Penambahan unit komposter dan bank sampah (70%:30%), Penambahan unit komposter dan bank sampah (75%:25%), Penambahan unit komposter dan bank sampah (80%:20%) Penentuan alternatif pengembangan didasarkan pada ekspansi fasilitas yang mungkin untuk dilakukan. Perbandingan penambahan komposter lebih besar dari pada bank sampah karena komposisi sampah didominasi sampah basah 67,52% dan sampah kering 32,48%. Selain itu, kapasitas reduksi satu unit bank sampah lebih besar daripada komposter. Diharapkan dengan memperbesar proporsi sampah basah yang direduksi dibandingkan dengan sampah kering akan semakin meningkatkan reduksi sampah.

Alternatif 1 : Penambahan Unit Komposter

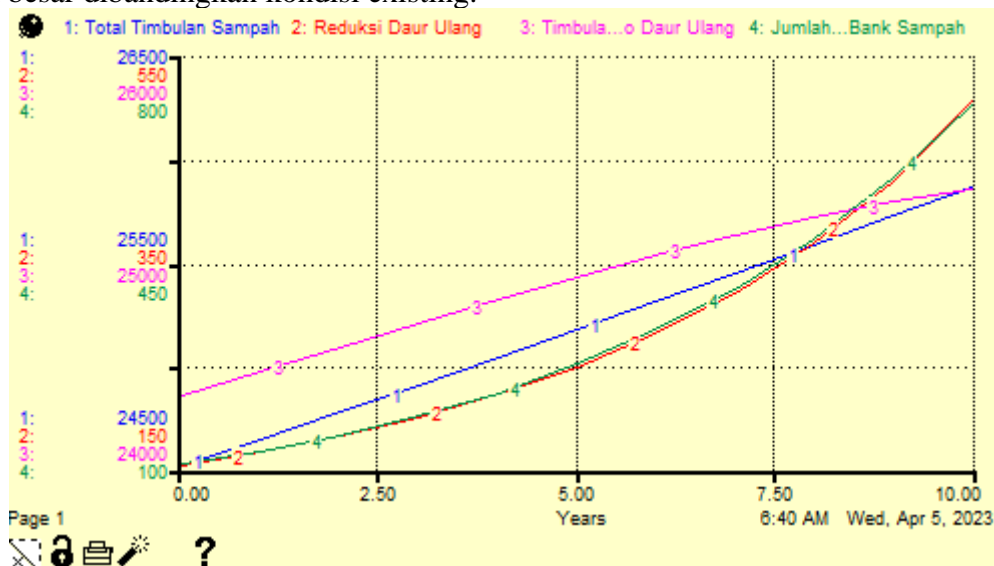
Dalam alternatif pertama, dilakukan penambahan jumlah unit komposter saja tanpa menambah nasabah bank sampah. Output alternatif pengembangan pertama yaitu dengan adanya 82 unit komposter dan 397 bank sampah di tahun 2032 dapat meningkatkan reduksi sebesar 406,6 ton/tahun. Reduksi sampah meningkat 1,58 kali lebih besar dibandingkan kondisi eksisting



Gambar 2. Hasil Simulasi Alternatif Pengembangan 1
 Sumber : Hasil Running Stella 9.0, 2022

Alternatif 2 : Penambahan Nasabah Bank Sampah

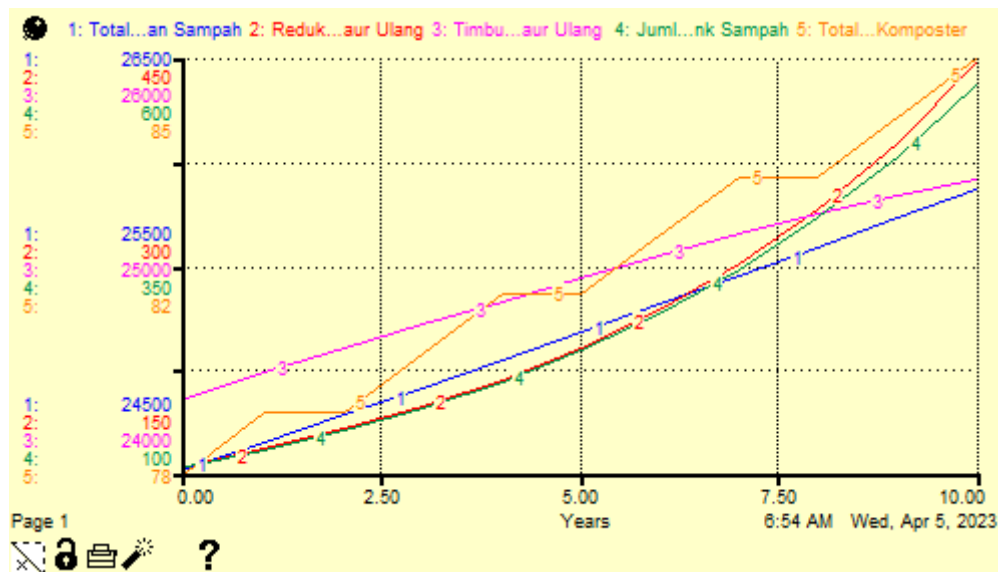
Dalam skenario kedua, dilakukan penambahan jumlah unit bank sampah saja tanpa menambah jumlah unit komposter. Jumlah unit bank sampah ditunjukkan dengan bertambahnya jumlah nasabah. Penambahan dilakukan dengan mengganti nilai tingkat penambahan bank sampah yang semula 0,14 menjadi 0,21. Penambahan nasabah bank sampah sebesar 50% per tahun dengan jumlah awal pada tahun 2022 sebanyak 107 nasabah bank sampah dan pada tahun 2032 sebanyak 720 nasabah bank sampah dapat meningkatkan reduksi sebesar 378,36 ton/tahun.. Reduksi sampah meningkat 1,72 kali lebih besar dibandingkan kondisi existing.



Gambar 3. Hasil Simulasi Alternatif Pengembangan 2
 Sumber : Hasil Running Stella 9.0, 2022

Alternatif 3 : Penambahan Unit Komposter Dan Bank Sampah (70%:30%)

Perbandingan penambahan fasilitas komposter : bank sampah sebesar 70% : 30% yang didasarkan dari tingkat penambahan tiap fasilitas. Penambahan dilakukan dengan mengganti nilai tingkat penambahan komposter dari 0,005 menjadi 0,0085 dan mengganti nilai penambahan nasabah bank sampah dari 0,14 menjadi 0,182.



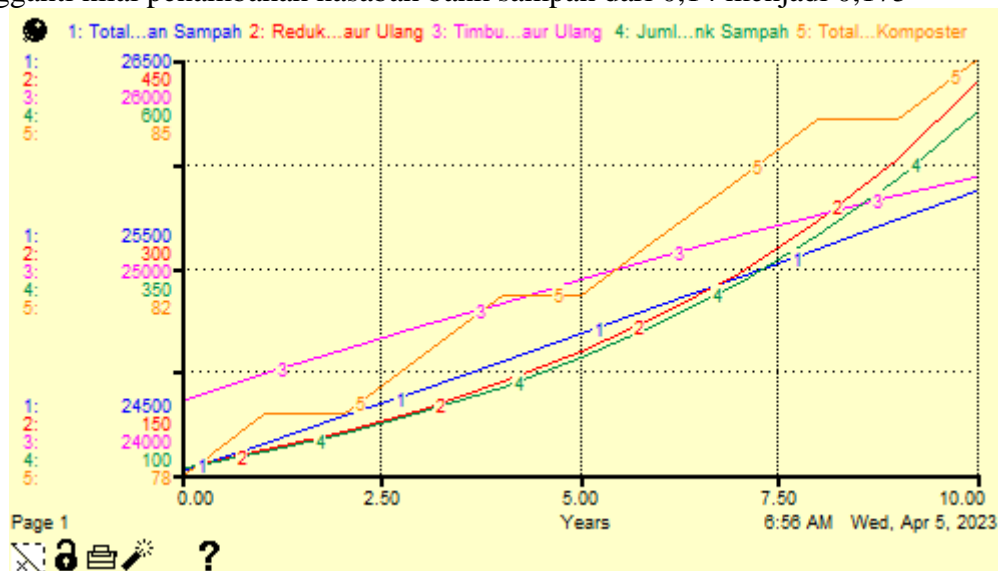
Gambar 3. Hasil Simulasi Alternatif Pengembangan 3

Sumber : Hasil Running Stella 9.0, 2022

Output alternatif pengembangan ketiga yaitu, dengan adanya 84 unit komposter dan 570 nasabah bank sampah di tahun 2032 dapat meningkatkan reduksi sampah sebesar 475,67 ton/tahun. Reduksi sampah meningkat 2,19 kali lebih besar dibandingkan kondisi eksisting.

Alternatif 4 : Penambahan Unit Komposter dan Bank Sampah (75%:25%)

Perbandingan penambahan fasilitas komposter : bank sampah sebesar 75%:25% yang dinyatakan dengan berat sampah yang direduksi. Penambahan dilakukan dengan mengganti nilai tingkat penambahan komposter sebesar 0,005 menjadi 0,00875 dan mengganti nilai penambahan nasabah bank sampah dari 0,14 menjadi 0,175



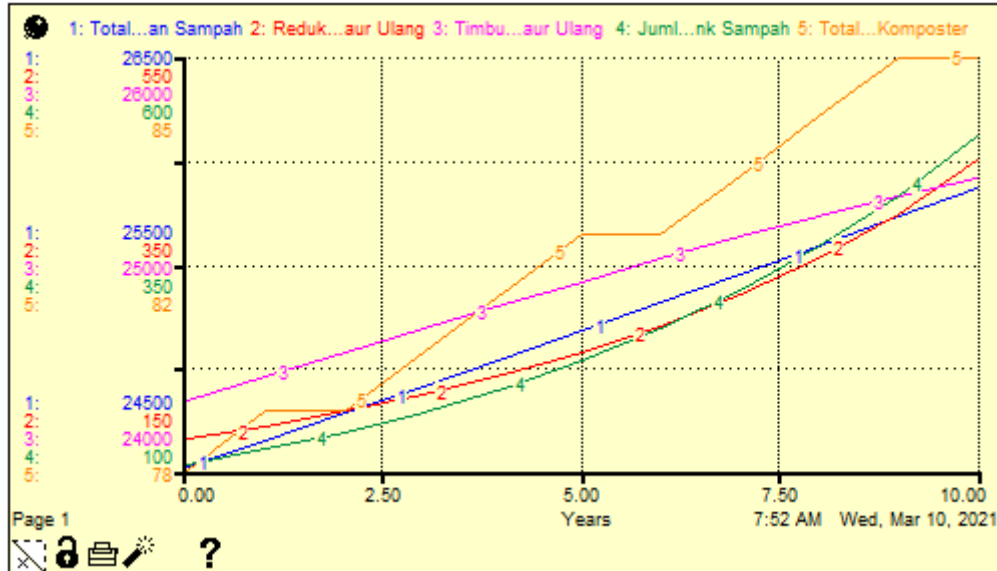
Gambar 4. Hasil Simulasi Alternatif Pengembangan 4

Sumber : Hasil Running Stella 9.0, 2022

Output pengembangan keempat yaitu dengan adanya 85 unit komposter dan 537 nasabah bank sampah di tahun 2032 dapat meningkatkan reduksi sampah sebesar 462,7 ton/tahun. Reduksi sampah meningkat 2,15 kali lebih besar dibandingkan kondisi eksisting.

Alternatif 5 : Penambahan Unit Komposter dan Bank Sampah (80%:20%)

Perbandingan penambahan fasilitas komposter : bank sampah sebesar 80%:20%. Penambahan dilakukan dengan mengganti nilai tingkat penambahan komposter sebesar 0,005 menjadi 0,009 dan mengganti nilai penambahan nasabah bank sampah dari 0,14 menjadi 0,168.



Gambar 5. Hasil Simulasi Alternatif Pengembangan 5
 Sumber : Hasil Running Stella 9.0, 2022

Output alternatif pengembangan kelima yaitu dengan adanya 85 unit komposter dan 506 nasabah bank sampah di tahun 2032 dapat meningkatkan reduksi sampah sebesar 450,42 ton/tahun. Reduksi sampah meningkat 2,11 kali lebih besar dibandingkan kondisi existing

Perbandingan Alternatif Pengembangan Pengolahan

Perbandingan hasil kelima alternatif pengembangan dimaksudkan untuk melihat alternatif pengembangan yang paling baik dalam peningkatan reduksi sampah. Reduksi sampah terbesar terjadi pada skenario ketiga dan reduksi sampah terkecil terjadi pada alternatif kedua. Disamping itu, berat reduksi sampah total paling besar terjadi pada alternatif ketiga. Jumlah komposter paling sedikit terjadi pada pengembangan pertama dan jumlah nasabah bank sampah paling sedikit terjadi pada pengembangan kedua. Kelima alternatif pengembangan diatas melibatkan masyarakat, pemerintah dan sektor informal untuk melakukan reduksi sampah. Jumlah komposter yang ditambah sekitar 78-85 unit. Sedangkan penambahan nasabah bank sampah sekitar 397-720 nasabah pada akhir tahun 2032.

Tahun	Penambahan Komposter (Ton)	Penambahan Bank Sampah (Ton)	Perbandingan 70 : 30 (Ton)	Perbandingan 75 : 25 (Ton)	Perbandingan 80 : 20 (Ton)
2023	191.78	165.29	192.82	192.67	192.51
2024	204.94	178.32	207.48	207.1	206.72
2025	219.77	193.02	224.45	223.72	222.99
2026	236.57	209.68	244.26	243.01	241.78
2027	255.7	228.68	267.57	265.59	263.65

2028	277.62	250.46	295.24	292.22	289.29
2029	302.88	275.59	328.34	323.87	319.57
2030	332.14	304.71	368.22	361.76	355.56
2031	366.2	338.63	416.61	407.4	398.61
2032	406.06	378.36	475.67	462.7	450.42

Sumber : Hasil Penelitian, 2022

Alternatif pengembangan yang paling baik untuk mengurangi timbunan sampah di TPA adalah alternatif pengembangan ketiga karena memiliki kemampuan reduksi sampah paling besar yaitu 475,67 ton/tahun atau paling besar diantara alternatif pengembangan lain dan memiliki hasil timbunan akhir yang paling rendah. Selain itu keterlibatan masyarakat juga dengan penambahan nasabah bank sampah yang sebanding dengan jumlah penduduk kota yang bertambah banyak tentu partisipasi masyarakat untuk menjadi nasabah bank sampah ini agar bisa berjalan dan penambahan unit komposter yang jumlahnya sama dengan pengembangan lain.

4. KESIMPULAN

Pengolahan dengan reduksi sampah terbesar adalah pengolahan dengan daur ulang. Hasil simulasi model dinamis menunjukkan reduksi sampah pengolahan dengan daur ulang di Kota Probolinggo tahun 2032 meningkat menjadi 244,09 ton/tahun. Alternatif pengembangan diharapkan untuk mencapai kemampuan reduksi yang lebih besar lagi. Alternatif pengembangan yang paling baik dalam peningkatan reduksi sampah adalah alternatif pengembangan penambahan fasilitas komposter : bank sampah dengan perbandingan 70%:30%. Jumlah komposter sebanyak 84 unit serta jumlah nasabah menjadi 570 nasabah bank sampah. Dengan penambahan fasilitas tersebut, pada tahun 2032 reduksi sampah meningkat menjadi sebesar 475,67 ton/tahun. Reduksi sampah yang dilakukan 2,19 kali lebih besar dibandingkan kondisi existing. Penelitian selanjutnya diharapkan akan lebih baik jika memasukkan aspek partisipasi masyarakat dan teknologi pemrosesan akhir sampah dalam model secara lebih rinci, detail dan terintegrasi. Penelitian selanjutnya juga dapat menambahkan fasilitas yang lebih lengkap dari penelitian ini dan pengukuran dilakukan langsung dari sumber sampah. Perlu dilakukan analisis lanjutan dari skenario pengembangan yang dihasilkan dengan menggunakan metode analisa keuangan sehingga skenario pengembangan sesuai dengan kemauan masyarakat dan kesanggupan pemerintah setempat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada semua pihak di TPA Bestari Probolinggo atas segala bentuk bantuan yang diberikan.

5. REFERENCES

- Ahmad, K. 2015. Modeling of Municipal Solid Waste Management System Using Powersim Studio – A Case Study. *Journal Research and of Energy Environmental Technology*. 2: 117–122.
- Agustia, Y. 2014. Model Sistem Dinamik Pada Pengembangan Pengelolaan Sampah Kecamatan Gubeng, Kota Surabaya [Tesis]. *Pascasarjana Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya*.
- An, B., & W, L. M. C. 2013. Analisis Potensi Utilisasi Sampah di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Kota Metropolitan : Suatu Pendekatan Model Berbasis Sistem Dinamik (Study Kasus : TPA Kota Surabaya), *Proceedings 7th National Industrial Engineering Conference.*, Eds : An B., Surabaya, 84–90.

- Barlas, Y. (1996). Formal aspects of model validity and validation in system dynamics. *System Dynamics Review*, 12(3), 183–210.
- Bohari, Saifuddin, S., & Masni. 2014. Pendekatan Model Dinamik Dalam Mengestimasi Kejadian Diabetes Mellitus Tipe 2 di Sulawesi Selatan [Tesis]. *Pascasarjana Universitas Hasanuddin Makassar*.
- BPS Kota Probolinggo 2022
- Mallongi, Anwar. 2012. Modul Pemodelan Kesehatan : Pemodelan Dinamik Kesehatan Masyarakat dengan Menggunakan Software Stella. Writing Revolution, Yogyakarta.
- Popli, K., Sudibya, G. L., & Kim, S. 2017. A Review of Solid Waste Management using System Dynamics Modeling. *Journal of Environmental Science International*. 26(10): 1185–1200.
- SNI, 19-2454-2002. 2002. Tata cara teknik operasional pengelolaan sampah perkotaan.
- SNI, 19-7030-2004. 2004. Standar kualitas kompos.