

Analisis Potensi Utilisasi Sampah di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Kota Metropolitan: Suatu Pendekatan Model Berbasis Sistem Dinamik (Study Kasus: TPA Kota Surabaya)

ORIGINALITY REPORT

16%

SIMILARITY INDEX

15%

INTERNET SOURCES

4%

PUBLICATIONS

12%

STUDENT PAPERS

MATCH ALL SOURCES (ONLY SELECTED SOURCE PRINTED)

6%

★ Submitted to Asia e University

Student Paper

Exclude quotes On

Exclude matches Off

Exclude bibliography On

Turnitin Originality Report

Processed on: 08-Jan-2023 19:57 WIB
 ID: 1989725115
 Word Count: 2292
 Submitted: 1

Similarity Index	Similarity by Source
16%	Internet Sources: 15% Publications: 4% Student Papers: 12%

Analisis Potensi Utilisasi Sampah di Tempat

Pembuangan Akhir (TPA) Kota Metropolitan: Suatu Pendekatan

Model Berbasis Sistem Dinamik

(Study Kasus: TPA Kota Surabaya) By Lusi Mei Cahya Wulandari

6% match (student papers from 07-May-2014)

[Submitted to Asia e University on 2014-05-07](#)

2% match (student papers from 06-Dec-2018)

[Submitted to Surabaya University on 2018-12-06](#)

2% match (Internet from 15-Apr-2019)

<http://jurnal.unipasby.ac.id/index.php/waktu/article/download/433/292/>

1% match (Internet from 16-Mar-2015)

<http://ejournal2.its.ac.id/index.php/teknik/article/download/1039/496>

1% match (Internet from 15-Jul-2019)

http://ti.unpar.ac.id/wp-content/uploads/sites/10/2017/05/JROH_NIEC-2013.pdf

1% match (Internet from 11-Apr-2021)

<https://ejournal.itn.ac.id/index.php/seniati/article/download/1979/1719/>

1% match (Internet from 01-May-2019)

http://etd.unsyiah.ac.id/index.php?id=44445&p=show_detail

1% match (Internet from 15-Nov-2020)

<http://mmt.its.ac.id/download/SEMNAS/SEMNAS%20XII/MI/26.%20Prosiding%20Ode-Ok-Print.pdf>

1% match (student papers from 01-Dec-2016)

[Submitted to Universitas Brawijaya on 2016-12-01](#)

< 1% match (Internet from 13-Aug-2021)

<https://hinyong.com/peluang-usaha-modal-kecil-dan-menengah-sebagai-kerja-sampingan-karyawan-dan-ibu-rumah-tangga/>

< 1% match (Internet from 12-Oct-2020)

<http://journal.uin-alauddin.ac.id/index.php/Jurisprudentie/article/download/4061/3757>

< 1% match (Internet from 23-Mar-2020)

<http://jurnal.pancabudi.ac.id/index.php/akuntansibisnisdanpublik/article/download/456/431/>

< 1% match (Internet from 15-Nov-2020)

<https://idoc.pub/documents/4-biologi-2007-2878-d47e9woo3yn2>

Analisis Potensi Utilisasi Sampah di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Kota Metropolitan: Suatu Pendekatan Model Berbasis Sistem Dinamik (Study Kasus: TPA Kota Surabaya) Bing An, Lusi Mei Cahya W Program Studi Teknik Industri, Universitas Katolik Darma Cendika Jl. DR. Ir. Soekarno 201, Surabaya 60117, Indonesia E-mail: bingan_19@yahoo.com, lusi_mei@ukdc.ac.id Ahmad Fatih Fudhla Laboratorium Pemodelan Sistem, Teknik Industri, Sekolah Tinggi Teknik YPM Jl. Raya Ngelom 86, Taman, Sepanjang, Sidoarjo 61257, Indonesia E-mail : fudhla04@yahoo.co.id

Abstrak Sampah merupakan masalah global yang memerlukan perhatian khusus. Kota Surabaya yang merupakan salah satu kota metropolitan terbesar ke dua di Indonesia tidak luput dari permasalahan tersebut. Semakin bertambahnya jumlah penduduk kota semakin besar pula jumlah sampah yang dihasilkan. Sistem persampahan Kota Surabaya bermuara [pada Tempat Pembuangan Akhir \(TPA\) yang berada di](#) Kecamatan Benowo yang semakin hari semakin menggunung. Di dalam penelitian ini, dibuat mode dinamis kondisi yang berjalan saat ini di TPA dan alternatif utilisasi sampah sehingga dapat menjadi salah satu pertimbangan usulan strategis bagi pemerintah kota dalam menangani produksi sampah yang semakin tinggi. Berdasarkan simulasi model, didapatkan bahwa dalam 10 tahun mendatang jumlah sampah di TPA sudah mencapai 1.000.000 ton dari 416.000. Usulan strategis utilisasi yang disusun, berupa pemanfaatan gas metana sebagai hasil penguraian sampah organik. berdasarkan simulasi model dinamik, selama 10 tahun sampah di TPA menghasilkan gas metan sejumlah rata-rata 6.86 ribu ton per hari. Gas metan merupakan energi alternatif pengganti energi fosil. Jumlah gas metan perhari tersebut setara dengan potensi energi senilai 54.65-66.8 milyar rupiah. Kata kunci: Sampah, Simulasi, Sistem Dinamik, Metana

Abstract Waste is a global problem that requires special attention. Surabaya which is one of the second largest metropolitan city in Indonesia is not immune to these problems. The increasing number of urban dwellers, the greater the amount of waste generated. Surabaya city waste system boils down to the Final Disposal (TPA) located in District Benowo increasingly mounting. In this study, created a dynamic mode that runs the current conditions in the landfill and trash utilization alternatives that can be considered one of the strategic proposal for the city government in dealing with the production of the higher junk. Based simulation models, it was found that in the next 10 years the amount of waste in the landfill has reached 1,000,000 tons from 416,000. Proposals drawn up strategic utilization, such as [the utilization of](#) methane gas [as a result of](#) the decomposition of organic waste. based simulation model of dynamic, during 10 years of waste in landfill produces methane, an average number of 6.86 thousand tons per day. Methane gas is an alternative to fossil fuel energy. The amount of methane per day, equivalent to the energy potential of billion dollars worth of 54.65- 66.8. Keywords: Waste, Simulation, Dynamic System, Methan

1. Pendahuluan Kota metropolitan merupakan suatu kota utama atau kota terbesar dari suatu negara bagian, negara atau propinsi [1]. Suatu kota metropolitan menjadi pusat berbagai aktivitas bisnis, ekonomi, politik, budaya dari kota atau daerah disekitarnya, yang salah satunya ditandai dengan tingginya densitas penduduk dan kencangnya kecepatan dan percepatan finansial. Dari sisi lingkungan, tingginya densitas penduduk berdampak pada tingginya produksi sampah perkotaan. Surabaya sebagai kota metropolitan terbesar kedua di Indonesia setelah ibu kota menghadapi permasalahan yang sama. Sekitar 0,45 kg sampah diproduksi oleh satu orang penduduk kota Surabaya per harinya. Tahun 2012 Badan Pusat Statistik (BPS) mencatat jumlah penduduk kota Surabaya mencapai angka 3.110.187 jiwa[2]. Jumlah itu [terus bertambah dari tahun ke tahun. Seiring bertambahnya jumlah penduduk](#) membuat jumlah sampah yang dihasilkan juga ikut bertambah. Sistem persampahan Kota Surabaya bermuara [pada Tempat Pembuangan Akhir \(TPA\) yang berada di](#) Benowo. Di TPA inilah sampah yang dihasilkan penduduk kota Surabaya dikumpulkan. Luas total TPA Kota Surabaya adalah 37 ha, dimana 30 ha sebagai tempat khusus pengolahan sampah dan 7 ha untuk keperluan lain seperti saluran lindi, bangunan, dan lain- lain. TPA beroperasi setiap hari dengan volume sampah yang ditampung rata-rata 290 truk perhari. Lahan efektif seluas 30 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. Dalam penelitian ini, dibuat sebuah pemodelan 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. Pemodelan [Sistem Dinamik Metode sistem dinamik berhubungan erat dengan pertanyaan-pertanyaan tentang trend atau pola perilaku dinamik \(sejalan dengan bertambahnya waktu\) dari sebuah sistem yang kompleks.](#) [Penggunaan sistem dinamik diarahkan kepada bagaimana memahami perilaku sistem tersebut](#) sehingga orang atau pihak tertentu [dapat meningkatkan efektivitas dalam merencanakan suatu kebijakan dan pemecahan masalah yang timbul](#) [3]. [Pembuatan model sistem dinamik umumnya dilakukan dengan menggunakan software yang memang dirancang khusus.](#) Salah satu software [tersebut](#) adalah [Vensim](#) (Ventana Simulation). [Dengan software tersebut model dibuat secara grafis dengan simbol-simbol atas variabel dan hubungannya.](#) Model sistem dinamik [bukan](#) hanya [dibuat untuk memberikan proses peramalan atau prediksi semata, tetapi lebih jauh dari itu sistem dinamik ditujukan untuk memahami karakteristik dan perilaku mekanisme proses internal yang terjadi dalam suatu sistem tertentu.](#) Sistem dinamik [sangat efektif digunakan pada sistem yang membutuhkan tingkat pengelolaan akan data yang banyak dengan baik. Dengan fleksibilitas yang dimiliki maka hal ini akan membantu dalam melakukan proses formulasi model, penentuan batasan model, validasi model, analisis kebijakan, serta penerapan model](#)[4]. Surjandari (2009)[5] menggunakan sistem dinamik (dynamic system) yang digabungkan dengan AHP (Analytic Hierarchy Process) untuk membantu memperoleh kebijakan yang harus dilakukan untuk mengurangi beban tumpukan sampah di DKI Jakarta. Setelah penelitian tersebut Hapsari dan Wilujeng (2012)[6] membuat penelitian mengenai studi emisi karbon dioksida (CO₂) dan metana (CH₄) dari kegiatan mereduksi sampah di Kota Surabaya bagian selatan. Dari beberapa penelitian diatas maka peneliti mendasari penelitiannya menggunakan pendekatan sistem dinamik untuk menggambarkan sistem persampahan kota Surabaya. 3. Metodologi Penelitian Penelitian ini dimulai dengan identifikasi variabel-variabel apa saja yang mempengaruhi sistem persampahan kota. Variabel-variabel yang sudah diidentifikasi selanjutnya dituangkan kedalam kerangka diagram sebab akibat (Causal loop diagram/ CLD), disini CLD [digunakan untuk mengetahui hubungan sebab akibat antar variabel.](#) Dari CLD maka dapat dibuat Stock and Flow diagram (SFD) yang merupakan model simulasi dari sistem persampahan kota Surabaya. CLD maupun SFD dibuat dengan menggunakan software Ventana Simulation (Vensim). 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 [7]. Fungsi daripada model adalah melihat bagaimana pola pergerakan sampah dilihat dari deret waktu serta mengetahui faktor-faktor yang berpengaruh terhadap penumpukan sampah di kota Surabaya. Diagram sebab akibat (Causal Loop Diagram) dibuat dengan menghubungkan keterkaitan suatu variabel dengan variabel lainnya. Dengan demikian dapat dipahami, keterkaitan serta seberapa jauh pengaruhnya. Semua variabel yang berpengaruh terhadap permasalahan dilibatkan di dalam model. Variabel-variabel awal yang membangun model beserta pola interaksinya dapat dilihat pada Gambar 1 dimana variabel-variabel tersebut masih berupa variabel besar yang sifatnya masih umum. Gambar 1. Causal Loop Diagram Sistem Persampahan Kota Surabaya [Stock and flow diagram dibuat berdasarkan diagram sebab akibat](#) (causal loop diagram) pada Gambar 1. Dengan variabel sampah organik dan sampah anorganik TPA [sebagai variabel utama. Model utama dari](#) sistem persampahan di Kota Surabaya dapat dilihat pada Gambar 2. Gambar 2. Model Utama TPA Kota Surabaya Pada model utama sampah yang ada di TPA Kota Surabaya dibagi menjadi sampah organik dan sampah anorganik, hal ini untuk dapat melihat pengolahannya secara detail. Sampah organik diolah dengan rumah kompos untuk selanjutnya dijadikan pupuk kompos. Pemulung berperan dalam upaya pengurangan sampah anorganik, dimana setiap harinya lebih dari 100 pemulung datang ke TPA untuk

mengumpulkan sampah-sampah yang masih bernilai ekonomis untuk dijual kembali. Incenerator digunakan untuk upaya pemusnahan sampah dimana pengolahan ini digunakan untuk mengolah sampah organik maupun sampah anorganik. Sampah yang datang ke TPA berasal dari berbagai macam sumber antara lain sampah pemukiman, sampah pasar, sampah taman, sampah jalanan umum. Maka dari itu dibuatlah sub model sumber sampah dimana sub model ini menggambarkan bagaimana mekanisme sampah yang masuk ke TPA. Pembuatan sub model ini juga memperhitungkan pergerakan sampah yang berfluktuasi ketika dipengaruhi oleh waktu. Model juga sudah mempertimbangkan ketika bulan-bulan tertentu sampah pemukiman menjadi bertambah atau berkurang.

4. Hasil Simulasi Model [Simulasi dan pemodelan](#) dibuat [dengan menggunakan software Vensim](#) (Ventana Simulation), [dilakukan dalam waktu simulasi selama 10 tahun](#) dimana data yang dimasukkan sebagai data awal didapat melalui Badan Pusat Statistik pada tahun 2012. Seperti telah dijelaskan sebelumnya bahwa pemodelan dalam penelitian ini difokuskan pada pola pergerakan sampah dari tahun ke tahun. Berikut ini merupakan hasil dari pola pergerakan sampah [dari tahun ke tahun mulai dari tahun 2012 sampai tahun 2022](#). Gambar 5. Hasil Simulasi Sampah TPA Kota Surabaya Dari hasil simulasi model pada Gambar 5, jumlah sampah organik maupun anorganik yang tertampung di TPA cenderung bertambah. Dapat dilihat pada gambar 4.12. jumlah sampah yang ada di TPA dalam waktu 10 tahun sudah mencapai 1.000.000 ton, dimana jumlah sampah yang ditampung saat ini 416.000 ton. Dapat dilihat data tersebut pertambahan jumlah sampah yang ditampung di TPA mencapai lebih dari 100%. kapasitas TPA yang mempunyai luas lahan 30 ha hanya dapat menampung sekitar 705.000 ton sampah, itu pun sampah yang ditumpuk sudah setinggi 10 meter. Melihat hasil simulasi tersebut maka hendaknya dilakukan perencanaan untuk menangani dan mengantisipasi kondisi tersebut agar sampah tidak semakin bertambah Sampah yang tertimbun di TPA dalam waktu tertentu akan menghasilkan berbagai jenis gas salah satunya adalah metana. Gas metana (CH₄) merupakan gas hasil dari penguraian sampah organik. Menurut Zhang[8], biogas yang dihasilkan dari fermentasi limbah organik memiliki komposisi lengkap sebagai berikut: [Tabel 1. Komposisi Kandungan Biogas](#) [Komponen % Metana \(CH₄\) 55 – 75 Karbon dioksida \(CO₂\) 25 – 45 Nitrogen \(N₂\) 0 – 0,3 Hidrogen \(H₂\) 1 – 5 Hidrogen sulfida \(H₂S\) 0 – 3 Oksigen \(O₂\) 0,1 – 0,5](#) Selama ini gas metana yang dihasilkan sampah TPA hanya dialirkan dengan bebas ke udara dengan cerobong-cerobong pipa. Gas metana tersebut dibiarkan mengalir kealam bebas tanpa dimanfaatkan. Untuk mengetahui jumlah gas metana yang dihasilkan oleh TPA maka dibuatlah mekanisme model produksi gas metana yang terintegrasi dengan model utama. Gas Metana 8M 7.5 M 7M 6.5 M 6M 0 360 720 1080 1440 1800 2160 2520 2880 3240 3600 Time (Day) Gas Metana : Current kg Gambar 6. Model Mekanisme produksi Gas Metana dan Grafik Hasil Simulasi Gas metana hanya terbentuk dari sampah yang berupa sampah organik. Sampah yang menumpuk dalam kurun waktu tertentu akan menghasilkan gas metana. Sebagaimana yang ditunjukkan pada grafik gambar 6, berdasarkan hasil simulasi, gas metana yang dikeluarkan oleh sampah organik dalam kurun waktu 10 tahun rata-rata mencapai 6,86 juta kilogram perhari. Setiap kilogram gas metana setara dengan daya listrik sebesar 13,28 Kilo Watt Hour (KWH)[9]. Jika rata-rata per hari gas metana yang dihasilkan 6,86 juta kilo gram, maka setara dengan listrik sebesar 91.1 juta KWH. Kondisi saat ini di TPA, gas metana dibiarkan lepas ke udara. Jika tarif listrik rumah tangga diasumsikan Rp 600/ KWH maka terdapat potensi energi listrik yang hilang ke udara yang setara dengan 54.65 milyar rupiah per hari. Atau jika bisa digunakan sebagai gas rumah tangga pengganti LPG, dengan asumsi harga LPG 3 kg Rp 13.000,00 dan faktor efisiensi 75%, maka potensi energi yang hilang ke udara setara dengan 66,8 milyar rupiah per hari. Melihat besarnya potensi ekonomi yang dihasilkan sampah di TPA, alangkah baiknya jika pihak-pihak yang terkait mengekstraksi gas metan yang selama ini terbuang sia-sia ke udara.

5. Kesimpulan Berdasarkan hasil analisa yang didapat dari simulasi model persampahan kota Surabaya didapatkan bahwa sampai akhir tahun 2013 sampah TPA Surabaya sudah mencapai angka 764.280 ton sampah dimana jumlah itu sudah melebihi daya tampung TPA Surabaya seluas 30 ha yang hanya mampu

menampung 705.000 ton sampah (dengan ketinggian sampah mencapai 10 meter). Jika terus menerus dibiarkan tanpa pemanfaatan atau pengolahan yang seimbang dengan produksi sampah, niscaya akan terbentuk gunung sampah yang tinggi menjulang. Sampah yang menumpuk terus menerus di TPA kota metropolitan seperti kota Surabaya, berdasarkan simulasi model dinamik menghasilkan gas metan dengan jumlah yang luar biasa besar setiap harinya (6.86 ribu ton). Gas metan merupakan energi alternatif pengganti energi fosil. Jumlah gas metan perhari tersebut setara dengan potensi energi senilai 54.65-66.8 milyar. Jika gas metan itu bisa dimanfaatkan secara optimal di kota-kota seluruh Indonesia, niscaya akan banyak berkurang ketergantungan kita akan bahan bakar fosil yang notabene impor dari luar negeri.

6. Daftar Rujukan [1] Mirriam-Webster Dictionary, www.mirriam-webster.com [2] Badan Pusat Statistik (2012), Surabaya Dalam Angka 2012 [3] Muhammadiyah, Aminullah E, Soesilo B (2001) Analisis Sistem Dinamis : Lingkungan Hidup, Sosial, Ekonomi, Manajemen, Jakarta :UMJ Press [4] Maani, Kambiz E. Cavana, Robert Y. (2000), System Thinking and Modelling : Understanding Change and Complexity. Prentice Hall. [5] Surjandari, I (2009) "Model Dinamis Pengelolaan Sampah Untuk Mengurangi Beban Penumpukan", Jurnal Teknik Industri, Vol. 11, No. 2, Desember 2009, pp. 134-147 [6] Hapsari, C. Dan Wilujeng S.A. (2012). Studi Emisi Karbon Dioksida (CO₂) dan Metana (CH₄) dari Kegiatan Mereduksi Sampah Di Kota Surabaya Bagian Selatan. Jurnal Lingkungan Tropis. Volume 6 Nomor 1. 21-30 [7] Shreckengost, Raymond C (1985), Self-Report Methods Of Estimating Drug Use: Meeting Current Challenges To Validity, Washington DC : Rockville, Maryland [8] Zhang, R. & Zhang, Z. 1999. Biogasification of rice straw with an anaerobicphased solids digester system. Biores. Technol. 68: 235-245. [9] Bayuseno AP (2009), Penerapan Dan Pengujian Model Teknologi Anaerob Digester Untuk Pengolahan Sampah Buah-Buahan Dari Pasar Tradisional, ROTASI ,Volume 11 Nomor 2, ejournal.undip.ac.id Proceedings 7th [National Industrial Engineering Conference – Surabaya](#), 10 Oktober 2013 [Proceedings 7th National Industrial Engineering Conference – Surabaya](#), 10 Oktober 2013 [Proceedings 7th National Industrial Engineering Conference – Surabaya](#), 10 Oktober 2013 [Proceedings 7th National Industrial Engineering Conference – Surabaya](#), 10 Oktober 2013 [Proceedings 7th National Industrial Engineering Conference – Surabaya](#), 10 Oktober 2013 [Proceedings 7th National Industrial Engineering Conference – Surabaya](#), 10 Oktober 2013 [Proceedings 7th National Industrial Engineering Conference – Surabaya](#), 10 Oktober 2013 [Proceedings 7th National Industrial Engineering Conference – Surabaya](#), 10 Oktober 2013 84 85 86 87 88 89 90

Analisis Potensi Utilisasi Sampah di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Kota Metropolis: Suatu Pendekatan Model Berbasis Sistem Dinamik (Study Kasus: TPA Kota Surabaya)

by Lusi Mei Cahya Wulandari

Submission date: 08-Jan-2023 07:57PM (UTC+0700)

Submission ID: 1989725115

File name: Sampah,Simulasi,SistemDinamik,Metana_LusiMeiCahyaWulandari.pdf (1,012.3K)

Word count: 2292

Character count: 13811



Analisis Potensi Utilisasi Sampah di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Kota Metropolitan: Suatu Pendekatan Model Berbasis Sistem Dinamik (Study Kasus: TPA Kota Surabaya)

Bing An, Lusi Mei Cahya W
Program Studi Teknik Industri, Universitas Katolik Darma Cendika
Jl. DR. Ir. Soekarno 201, Surabaya 60117, Indonesia
E-mail: bingan_19@yahoo.com, lusi_mei@ukdc.ac.id

Ahmad Fatih Fudhla
Laboratorium Pemodelan Sistem, Teknik Industri, Sekolah Tinggi Teknik YPM
Jl. Raya Ngelom 86, Taman, Sepanjang, Sidoarjo 61257, Indonesia
E-mail : fudhla04@yahoo.co.id

Abstrak

Sampah merupakan masalah global yang memerlukan perhatian khusus. Kota Surabaya yang merupakan salah satu kota metropolitan terbesar ke dua di Indonesia tidak luput dari permasalahan tersebut. Semakin bertambahnya jumlah penduduk kota semakin besar pula jumlah sampah yang dihasilkan. Sistem persampahan Kota Surabaya bermuara pada Tempat Pembuangan Akhir (TPA) yang berada di Kecamatan Benowo yang semakin hari semakin menggunung. Di dalam penelitian ini, dibuat mode dinamis kondisi yang berjalan saat ini di TPA dan alternatif utilisasi sampah sehingga dapat menjadi salah satu pertimbangan usulan strategis bagi pemerintah kota dalam menangani produksi sampah yang semakin tinggi. Berdasarkan simulasi model, didapatkan bahwa dalam 10 tahun mendatang jumlah sampah di TPA sudah mencapai 1.000.000 ton dari 416.000. Usulan strategis utilisasi yang disusun, berupa pemanfaatan gas metana sebagai hasil penguraian sampah organik, berdasarkan simulasi model dinamik, selama 10 tahun sampah di TPA menghasilkan gas metan sejumlah rata-rata 6.86 ribu ton per hari. Gas metan merupakan energi alternatif pengganti energi fosil. Jumlah gas metan perhari tersebut setara dengan potensi energi senilai 54.65-66.8 milyar rupiah.

Kata kunci: Sampah, Simulasi, Sistem Dinamik, Metana

Abstract

Waste is a global problem that requires special attention, Surabaya which is one of the second largest metropolitan city in Indonesia is not immune to these problems. The increasing number of urban dwellers, the greater the amount of waste generated. Surabaya city waste system boils down to the Final Disposal (TPA) located in District Benowo increasingly mounting. In this study, created a dynamic mode that runs the current conditions in the landfill and trash utilization alternatives that can be considered one of the strategic proposal for the city government in dealing with the production of the higher junk. Based simulation models, it was found that in the next 10 years the amount of waste in the landfill has reached 1,000,000 tons from 416,000. Proposals drawn up strategic utilization, such as the utilization of methane gas as a result of the decomposition of organic waste. based simulation model of dynamic, during 10 years of waste in landfill produces methane, an average number of 6.86 thousand tons per day. Methane gas is an alternative to fossil fuel energy. The amount of methane per day, equivalent to the energy potential of billion dollars worth of 54.65-66.8.

Keywords: Waste, Simulation, Dynamic System, Methan



1. Pendahuluan

Kota metropolitan merupakan suatu kota utama atau kota terbesar dari suatu negara bagian, negara atau propinsi^[1]. Suatu kota metropolitan menjadi pusat berbagai aktivitas bisnis, ekonomi, politik, budaya dari kota atau daerah disekitarnya, yang salah satunya ditandai dengan tingginya densitas penduduk dan kencangnya kecepatan dan percepatan finansial. Dari sisi lingkungan, tingginya densitas penduduk berdampak pada tingginya produksi sampah perkotaan. Surabaya sebagai kota metropolitan terbesar kedua di Indonesia setelah ibu kota menghadapi permasalahan yang sama. Sekitar 0,45 kg sampah diproduksi oleh satu orang penduduk kota Surabaya per harinya. Tahun 2012 Badan Pusat Statistik (BPS) mencatat jumlah penduduk kota Surabaya mencapai angka 3.110.187 jiwa^[2]. Jumlah itu terus bertambah dari tahun ke tahun. Seiring bertambahnya jumlah penduduk membuat jumlah sampah yang dihasilkan juga ikut bertambah. Sistem persampahan Kota Surabaya bermuara pada Tempat Pembuangan Akhir (TPA) yang berada di Benowo. Di TPA inilah sampah yang dihasilkan penduduk kota Surabaya dikumpulkan.

Luas total TPA Kota Surabaya adalah 37 ha, dimana 30 ha sebagai tempat khusus pengolahan sampah dan 7 ha untuk keperluan lain seperti saluran lindi, bangunan, dan lain-lain. TPA beroperasi setiap hari dengan volume sampah yang ditampung rata-rata 290 truk perhari. Lahan efektif seluas 30 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.

Dalam penelitian ini, dibuat sebuah pemodelan 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. Pemodelan Sistem Dinamik

Metode sistem dinamik berhubungan erat dengan pertanyaan-pertanyaan tentang *trend* atau pola perilaku dinamik (sejalan dengan bertambahnya waktu) dari sebuah sistem yang kompleks. Penggunaan sistem dinamik diarahkan kepada bagaimana memahami perilaku sistem tersebut sehingga orang atau pihak tertentu dapat meningkatkan efektivitas dalam merencanakan suatu kebijakan dan pemecahan masalah yang timbul^[3]. Pembuatan model sistem dinamik umumnya dilakukan dengan menggunakan software yang memang dirancang khusus. Salah satu *software* tersebut adalah Vensim (*Ventana Simulation*). Dengan *software* tersebut model dibuat secara grafis dengan simbol-simbol atas variabel dan hubungannya.

Model sistem dinamik bukan hanya dibuat untuk memberikan proses peramalan atau prediksi semata, tetapi lebih jauh dari itu sistem dinamik ditujukan untuk memahami karakteristik dan perilaku mekanisme proses internal yang terjadi dalam suatu sistem tertentu. Sistem dinamik sangat efektif digunakan pada sistem yang membutuhkan tingkat pengelolaan akan data yang banyak dengan baik. Dengan fleksibilitas yang dimiliki maka hal ini akan membantu dalam melakukan proses formulasi model, penentuan batasan model, validasi model, analisis kebijakan, serta penerapan model^[4].

Surjandari (2009)^[5] menggunakan sistem dinamik (*dynamic system*) yang digabungkan dengan AHP (*Analytic Hierarchy Process*) untuk membantu memperoleh kebijakan yang harus dilakukan untuk mengurangi beban tumpukan sampah di DKI Jakarta. Setelah penelitian tersebut Hapsari dan Wilujeng (2012)^[6] membuat penelitian mengenai studi emisi karbon dioksida (CO₂) dan metana (CH₄) dari kegiatan mereduksi sampah di Kota Surabaya bagian selatan. Dari beberapa penelitian diatas maka peneliti mendasari penelitiannya menggunakan pendekatan sistem dinamik untuk menggambarkan sistem persampahan kota Surabaya.

3. Metodologi Penelitian

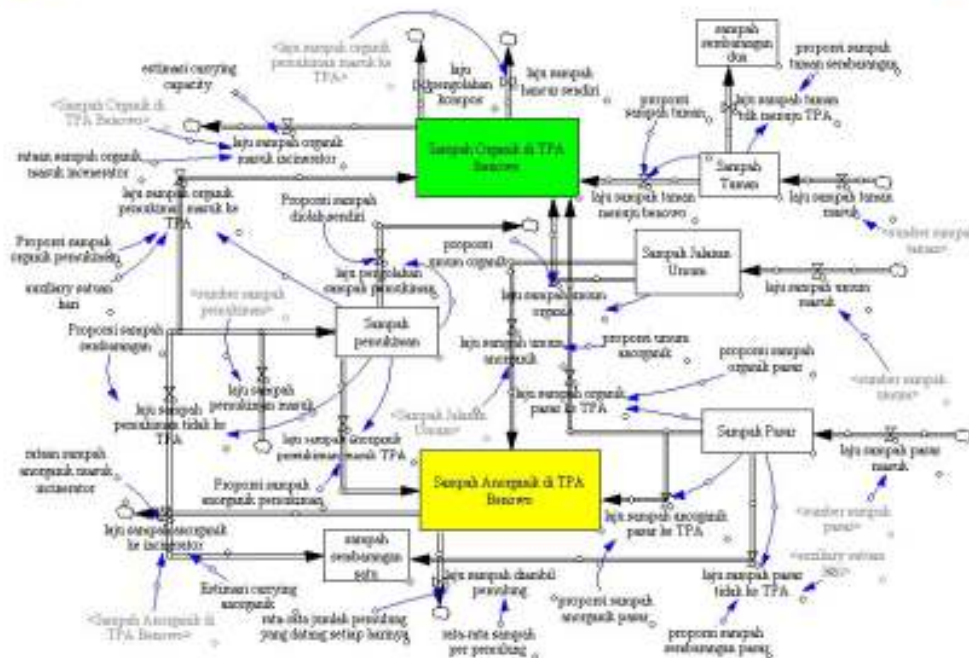
Penelitian ini dimulai dengan identifikasi variabel-variabel apa saja yang mempengaruhi sistem persampahan kota. Variabel-variabel yang sudah diidentifikasi selanjutnya dituangkan kedalam kerangka diagram sebab akibat (*Causal loop diagram/CLD*), disini CLD digunakan untuk mengetahui hubungan sebab akibat antar variabel. Dari CLD maka dapat dibuat *Stock and Flow diagram (SFD)* yang merupakan model simulasi dari sistem persampahan kota Surabaya. CLD maupun SFD dibuat dengan menggunakan *software* Ventana Simulation (Vensim). 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^[7]. Fungsi daripada model adalah melihat bagaimana pola pergerakan sampah dilihat dari deret waktu serta mengetahui faktor-faktor yang berpengaruh terhadap penumpukan sampah di kota Surabaya.

Diagram sebab akibat (*Causal Loop Diagram*) dibuat dengan menghubungkan keterkaitan suatu variabel dengan variabel lainnya. Dengan demikian dapat dipahami, keterkaitan serta seberapa jauh pengaruhnya. Semua variabel yang berpengaruh terhadap permasalahan dilibatkan di dalam model. Variabel-variabel awal yang membangun model beserta pola interaksinya dapat dilihat pada Gambar 1 dimana variabel-variabel tersebut masih berupa variabel besar yang sifatnya masih umum.



Gambar 1. *Causal Loop Diagram* Sistem Persampahan Kota Surabaya

Stock and flow diagram dibuat berdasarkan diagram sebab akibat (*causal loop diagram*) pada Gambar 1. Dengan variabel sampah organik dan sampah anorganik TPA sebagai variabel utama. Model utama dari sistem persampahan di Kota Surabaya dapat dilihat pada Gambar 2.



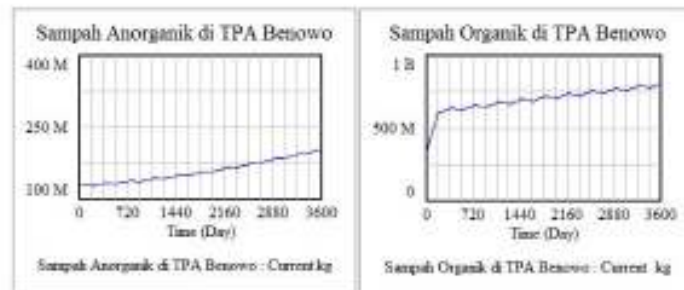
Gambar 2. Model Utama TPA Kota Surabaya

Pada model utama sampah yang ada di TPA Kota Surabaya dibagi menjadi sampah organik dan sampah anorganik, hal ini untuk dapat melihat pengolahannya secara detail. Sampah organik diolah dengan rumah kompos untuk selanjutnya dijadikan pupuk kompos. Pemulung berperan dalam upaya pengurangan sampah anorganik, dimana setiap harinya lebih dari 100 pemulung datang ke TPA untuk mengumpulkan sampah-sampah yang masih bernilai ekonomis untuk dijual kembali. *Incinerator* digunakan untuk upaya pemusnahan sampah dimana pengolahan ini digunakan untuk mengolah sampah organik maupun sampah anorganik.

Sampah yang datang ke TPA berasal dari berbagai macam sumber antara lain sampah pemukiman, sampah pasar, sampah taman, sampah jalanan umum. Maka dari itu dibuatlah sub model sumber sampah dimana sub model ini menggambarkan bagaimana mekanisme sampah yang masuk ke TPA. Pembuatan sub model ini juga memperhitungkan pergerakan sampah yang berfluktuasi ketika dipengaruhi oleh waktu. Model juga sudah mempertimbangkan ketika bulan-bulan tertentu sampah pemukiman menjadi bertambah atau berkurang.

4. Hasil Simulasi Model

Simulasi dan pemodelan dibuat dengan menggunakan *software* Vensim (*Ventana Simulation*), dilakukan dalam waktu simulasi selama 10 tahun dimana data yang dimasukkan sebagai data awal didapat melalui Badan Pusat Statistik pada tahun 2012. Seperti telah dijelaskan sebelumnya bahwa pemodelan dalam penelitian ini difokuskan pada pola pergerakan sampah dari tahun ke tahun. Berikut ini merupakan hasil dari pola pergerakan sampah dari tahun ke tahun mulai dari tahun 2012 sampai tahun 2022.



Gambar 5. Hasil Simulasi Sampah TPA Kota Surabaya

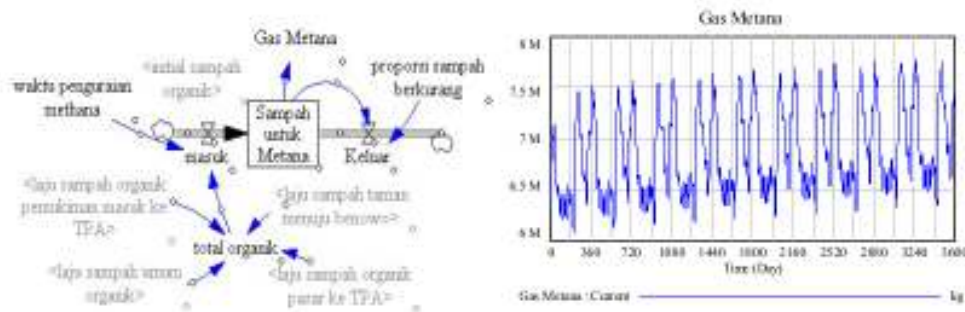
Dari hasil simulasi model pada Gambar 5, jumlah sampah organik maupun anorganik yang tertampung di TPA cenderung bertambah. Dapat dilihat pada gambar 4.12, jumlah sampah yang ada di TPA dalam waktu 10 tahun sudah mencapai 1.000.000 ton, dimana jumlah sampah yang ditampung saat ini 416.000 ton. Dapat dilihat data tersebut pertambahan jumlah sampah yang ditampung di TPA mencapai lebih dari 100%. kapasitas TPA yang mempunyai luas lahan 30 ha hanya dapat menampung sekitar 705.000 ton sampah, itu pun sampah yang ditumpuk sudah setinggi 10 meter. Melihat hasil simulasi tersebut maka hendaknya dilakukan perencanaan untuk menangani dan mengantisipasi kondisi tersebut agar sampah tidak semakin bertambah

Sampah yang tertimbun di TPA dalam waktu tertentu akan menghasilkan berbagai jenis gas salah satunya adalah metana. Gas metana (CH_4) merupakan gas hasil dari penguraian sampah organik. Menurut Zhang^[8], biogas yang dihasilkan dari fermentasi limbah organik memiliki komposisi lengkap sebagai berikut:

Tabel 1. Komposisi Kandungan Biogas

Komponen	%
Metana (CH_4)	55 – 75
Karbon dioksida (CO_2)	25 – 45
Nitrogen (N_2)	0 – 0,3
Hidrogen (H_2)	1 – 5
Hidrogen sulfida (H_2S)	0 – 3
Oksigen (O_2)	0,1 - 0,5

Selama ini gas metana yang dihasilkan sampah TPA hanya dialirkan dengan bebas ke udara dengan cerobong-cerobong pipa. Gas metana tersebut dibiarkan mengalir kealam bebas tanpa dimanfaatkan. Untuk mengetahui jumlah gas metana yang dihasilkan oleh TPA maka dibuatlah mekanisme model produksi gas metana yang terintegrasi dengan model utama.



Gambar 6. Model Mekanisme produksi Gas Metana dan Grafik Hasil Simulasi

Gas metana hanya terbentuk dari sampah yang berupa sampah organik. Sampah yang menumpuk dalam kurun waktu tertentu akan menghasilkan gas metana. Sebagaimana yang ditunjukkan pada grafik gambar 6, berdasarkan hasil simulasi, gas metana yang dikeluarkan oleh sampah organik dalam kurun waktu 10 tahun rata-rata mencapai 6,86 juta kilogram perhari.

Setiap kilogram gas metana setara dengan daya listrik sebesar 13,28 Kilo Watt Hour (KWH)^[9]. Jika rata-rata per hari gas metana yang dihasilkan 6,86 juta kilo gram, maka setara dengan listrik sebesar 91.1 juta KWH. Kondisi saat ini di TPA, gas metana dibiarkan lepas ke udara. Jika tarif listrik rumah tangga diasumsikan Rp 600/ KWH maka terdapat potensi energi listrik yang hilang ke udara yang setara dengan 54.65 milyar rupiah per hari. Atau jika bisa digunakan sebagai gas rumah tangga pengganti LPG, dengan asumsi harga LPG 3 kg Rp 13.000,00 dan faktor efisiensi 75%, maka potensi energi yang hilang ke udara setara dengan 66,8 milyar rupiah per hari. Melihat besarnya potensi ekonomi yang dihasilkan sampah di TPA, alangkah baiknya jika pihak-pihak yang terkait mengekstraksi gas metan yang selama ini terbuang sia-sia ke udara.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa yang didapat dari simulasi model persampahan kota Surabaya didapatkan bahwa sampai akhir tahun 2013 sampah TPA Surabaya sudah mencapai angka 764.280 ton sampah dimana jumlah itu sudah melebihi daya tampung TPA Surabaya seluas 30 ha yang hanya mampu menampung 705.000 ton sampah (dengan ketinggian sampah mencapai 10 meter). Jika terus menerus dibiarkan tanpa pemanfaatan atau pengolahan yang seimbang dengan produksi sampah, niscaya akan terbentuk gunung sampah yang tinggi menjulang.

Sampah yang menumpuk terus menerus di TPA kota metropolitan seperti kota surabaya, berdasarkan simulasi model dinamik menghasilkan gas metan dengan jumlah yang luar biasa besar setiap harinya (6.86 ribu ton). Gas metan merupakan energi alternatif pengganti energi fosil. Jumlah gas metan perhari tersebut setara dengan potensi energi senilai 54.65-66.8 milyar. Jika gas metan itu bisa dimanfaatkan secara optimal di kota-kota seluruh indonesia, niscaya akan banyak berkurang ketergantungan kita akan bahan bakar fosil yang notabene impor dari luar negeri.

6. Daftar Rujukan

- [1] Mirriam-Webster Dictionary, www.mirriam-webster.com
- [2] Badan Pusat Statistik (2012), *Surabaya Dalam Angka 2012*
- [3] Muhammadi, Aminullah E, Soesilo B (2001) *Analisis Sistem Dinamis : Lingkungan Hidup, Sosial, Ekonomi, Manajemen*, Jakarta :UMJ Press



- [4] Maani, Kambiz E. Cavana, Robert Y. (2000), *System Thinking and Modelling : Understanding Change and Complexity*. Prentice Hall.
- [5] Surjandari, I (2009) “*Model Dinamis Pengelolaan Sampah Untuk Mengurangi Beban Penumpukan*”, Jurnal Teknik Industri, Vol. 11, No. 2, Desember 2009, pp. 134-147
- [6] Hapsari, C. Dan Wilujeng S.A. (2012). Studi Emisi Karbon Dioksida (CO₂) dan Metana (CH₄) dari Kegiatan Mereduksi Sampah Di Kota Surabaya Bagian Selatan. Jurnal Lingkungan Tropis. Volume 6 Nomor 1. 21-30
- [7] Shreckengost, Raymond C (1985), *Self-Report Methods Of Estimating Drug Use: Meeting Current Challenges To Validity*, Washington DC : Rockville, Maryland
- [8] Zhang, R. & Zhang, Z. 1999. *Biogasification of rice straw with an anaerobicphased solids digester system*. *Biores. Technol.* 68: 235–245.
- [9] Bayuseno AP (2009), *Penerapan Dan Pengujian Model Teknologi Anaerob Digester Untuk Pengolahan Sampah Buah-Buahan Dari Pasar Tradisional*, ROTASI ,Volume 11 Nomor 2, ejournal.undip.ac.id