

# PREDIKSI PRODUKSI BIOGAS TAHUNAN DENGAN PENDEKATAN SISTEM DINAMIK UNTUK OPTIMASI KAPASITAS SAMPAH TPAS TALANGAGUNG

**Philip Faster Eka Adipraja<sup>1</sup>, Mufidatul Islamiyah<sup>2</sup>, Ida Wahyuni<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup>Teknik Informatika, Fakultas Teknik Informatika, STMIK Asia Malang

E-mail: \*<sup>1</sup>philipfaster@gmail.com, <sup>2</sup>mufidatul014@gmail.com,

<sup>3</sup>ida.wahyuni8@gmail.com,

**Abstrak** – TPAS Talangagung Kepanjen adalah salah satu TPAS yang memanfaatkan sampah menjadi biogas yang dapat digunakan untuk membangkitkan listrik ataupun sebagai bahan bakar memasak untuk penduduk sekitar. Namun pada tahun 2015 terjadi peningkatan hampir dua kali sampah yang masuk dibandingkan tahun sebelumnya, dimana jumlah volume sampah pada tahun 2014 sebanyak 46,558 m<sup>3</sup> dan pada tahun 2015 meningkat menjadi 70,490 m<sup>3</sup>. Kondisi ini diprediksi akan terus meningkat dan akan menyebabkan volume sampah TPAS Talangagung melebihi kapasitas. Perlu adanya estimasi produksi biogas yang dapat dihasilkan oleh sampah pada TPAS Talangagung sebagai dasar keputusan dalam mengoptimasi sampah yang jumlahnya semakin bertambah. Pada penelitian ini diperoleh hasil prediksi yaitu sampah pada TPAS Talangagung dapat menghasilkan biogas sebanyak 45 m<sup>3</sup>/hari dalam satu zona/sel TPAS dan dapat memproduksi biogas selama hampir 20 tahun. Namun karena keterbatasan lahan dan peningkatan volume sampah, maka dalam satu zona/sel yang menghasilkan biogas dibawah 50% dianggap sebagai zona/sel non aktif, dan sampah dapat dikonversi menjadi pupuk organik maupun sebagai tempat penghijauan.

**Kata Kunci** — Optimasi Sampah, Prediksi Biogas, Sistem Dinamik, TPAS Talangagung

**Abstract** – TPAS Talangagung TPAS Kepanjen is one that utilizes waste into biogas which can be used to generate electricity or as fuel for cooking to the villagers. But in 2015 the incoming waste

increased almost twice compared to the previous years, where the number of the volume of waste by 2014 as much as 46.558 m<sup>3</sup> and in 2015 increased to 70.490 m<sup>3</sup>. This condition is expected to continue to rise and will cause TPAS Talangagung waste volume exceeds its capacity. There needs to estimate the production of biogas that can be produced by garbage at the TPAS Talangagung as the basis for optimizing decisions in growing number of waste. In this study showed that the prediction of waste in biogas TPAS Talangagung can generate as much as 45 m<sup>3</sup>/day in one zone/cells and can produce biogas for almost 20 years. However, due to limited land and an increase in the volume of garbage, then within one zone/cell that produces biogas below 50% is regarded as the zone / non-active cell, and waste can be converted into organic fertilizer and as the greening zone.

**Keywords** — Biogas prediction, Systems Dynamics, TPAS Talangagung, Waste optimization,

## 1. PENDAHULUAN

Permasalahan sampah merupakan salah satu isu utama yang sedang dihadapi kota/kabupaten di beberapa wilayah di Indonesia. Peningkatan jumlah penduduk kota dan kabupaten khususnya malang semakin meningkat dengan rata-rata peningkatan sebesar 0,73 persen per tahun [1]. Hal ini menyebabkan tingkat konsumsi yang semakin tinggi, sehingga semakin tinggi pula volume dan jenis sampah yang ditimbulkan tiap orang [2].

Peningkatan volume sampah ini harus di ikuti dengan pengolahan sampah yang memadai untuk menghindari timbulnya resiko kerusakan lingkungan dan risiko kesehatan. [3]. Beberapa jenis gas dihasilkan oleh proses penguraian bahan organik pada tumpukan sampah.

TPAS Talangagung kepanjen malang, dengan luas lahan seluas 4,6 hektar dibagi menjadi 4 zona yang digunakan sebagai tempat pengolahan sampah [2]. Proses pengolahan dilakukan dengan penimbunan sampah bertahap sedalam 12 meter, dan timbunan sampah diberi pipa penangkap gas metana (CH<sub>4</sub>) dan pipa untuk saluran air lindi [1].

Biogas yang diproduksi dari timbunan sampah TPAS yang sebagian besar merupakan gas metana diolah dan digunakan untuk pembangkit listrik di area TPAS serta sebagian didistribusikan sebagai bahan bakar bagi penduduk sekitar TPAS. Biogas hasil proses sampah ini digunakan untuk 260 sambungan rumah (SR), rumah yang sudah terpasang pada tahun 2010 – 2011 sebanyak 60 SR, tahun 2012 sebanyak 15 SR, tahun 2013 sebanyak 27 SR dan sisa sebanyak 158 SR dilakukan pada tahun 2014 – 2015 [2].

Jumlah volume sampah pada dua tahun terakhir sudah meningkat cukup tajam, yaitu pada tahun 2014 sebanyak 46,558 m<sup>3</sup> dan pada tahun 2015 meningkat menjadi 70,490 m<sup>3</sup>. Kemungkinan kenaikan volume sampah di TPAS Talangagung diprediksikan akan semakin meningkat tajam juga dalam beberapa tahun kedepan [1]. Peningkatan jumlah volume sampah yang terjadi di TPAS Talangagung yang tidak diimbangi dengan manajemen pengolahan yang baik, mengakibatkan jumlah biogas yang dihasilkan akan semakin berkurang seiring berjalannya waktu. Maka perlu sebuah simulasi untuk prediksi produksi biogas tahunan pada zona pengolahan TPAS Talangagung.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1. Produksi Biogas

TPA umumnya mengeluarkan ratusan jenis gas yang berbeda. Dilihat dari volume, sebesar 45% hingga 60% merupakan gas metana dan 40% hingga 60% lainnya berupa karbon dioksida. Selain itu terdapat gas

dengan jumlah kecil yang terdiri dari amonia, hidrogen, oksigen, nitrogen, sulfida, karbon monoksida, dan senyawa organik non metana seperti benzena, trikloretilen, dan kloroetena [4].

Sampah yang dikirim ke TPAS Talangagung masih melalui tahap pemilahan. Dari sampah yang telah dipilah, 53% sampah organik dimasukkan ke zona penimbunan untuk dijadikan sumber biogas [2]. Sebagian besar gas di TPA dihasilkan dari proses penguraian oleh bakteri. Namun sebagian kecil juga dihasilkan dari proses penguapan, dan reaksi kimia [5].

TPA umumnya mengeluarkan ratusan jenis gas yang berbeda. Dilihat dari volume, sebesar 45% hingga 60% merupakan gas metana dan 40% hingga 60% lainnya berupa karbon dioksida. Selain itu terdapat gas dengan jumlah kecil yang terdiri dari amonia, hidrogen, oksigen, nitrogen, sulfida, karbon monoksida, dan senyawa organik non metana seperti benzena, trikloretilen, dan kloroetena [4].

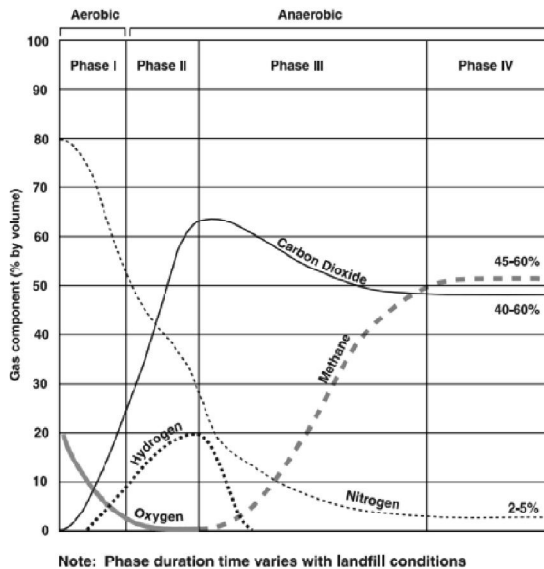
Sampah yang dikirim ke TPAS Talangagung masih melalui tahap pemilahan. Dari sampah yang telah dipilah, 53% sampah organik dimasukkan ke zona penimbunan untuk dijadikan sumber biogas [2]. Sebagian besar gas di TPA dihasilkan dari proses penguraian oleh bakteri. Namun sebagian kecil juga dihasilkan dari proses penguapan, dan reaksi kimia [5].

Tahap pertama penguraian sampah oleh bakteri *aerobic* (bakteri yang hidup jika ada oksigen) dimulai dengan penguraian molekul panjang rantai karbohidrat kompleks, protein, dan lipid yang berada pada sampah organik. Hasil dari proses ini adalah karbondioksida (CO<sub>2</sub>). Kandungan nitrogen akan sangat tinggi di awal dari fase ini, tapi akan menurun pada fase keempat. Tahap I akan berlanjut terus sampai persediaan oksigen habis, kurang lebih akan berlangsung selama sehari-hari atau mencapai satu bulan, tergantung pada seberapa banyak oksigen yang tersedia di TPA [4].

Tahap II dekomposisi dimulai setelah oksigen di TPA telah habis terpakai. Proses ini menggunakan proses *anaerobic* (proses yang tidak membutuhkan oksigen), bakteri mengubah senyawa aerobik menjadi asetat, laktat, asam formiat, dan alkohol seperti metanol dan etanol. Kondisi pada TPA akan menjadi sangat asam. Sebagian asam

bercampur dengan uap air di TPA, sehingga menyebabkan nutrisi tertentu berubah menjadi nitrogen dan fosfor. Gas sampingan yang dihasilkan dari proses ini adalah karbondioksida (CO<sub>2</sub>) dan hydrogen (H<sub>2</sub>). Jika terjadi gangguan pada kondisi TPA, atau terbentuk lagi gas oksigen (O<sub>2</sub>), maka proses mikroba akan kembali ke Fase I [4].

Tahap III dekomposisi dimulai ketika bakteri anaerob mengkonsumsi asam organik dalam bentuk asetat dan asam organik yang dihasilkan pada Tahap II. Proses ini menyebabkan kondisi TPA menjadi netral di mana gas methane mulai memproduksi bakteri untuk membangun diri. Metana dan bakteri acid producing memiliki simbiosis mutualisme atau kerjasama yang saling menguntungkan. Bakteri metanogen mengkonsumsi karbondioksida dan asam asetat, gas ini beracun terhadap bakteri penghasil asam [4].



Gambar 7 Grafik Fase Penguraian Sampah oleh Bakteri [4]

Dekomposisi fase IV dimulai ketika komposisi dan produksi gas TPA relatif konstan atau tetap. Pada tahap IV, gas yang dihasilkan biasanya mengandung sekitar 45% sampai 60% metana, 40% sampai 60% karbondioksida, dan 2% sampai 9% gas-gas lain, seperti sebagai sulfida. Pada Fase IV, biasanya gas yang dihasilkan akan stabil setelah 20 tahun. Namun, gas akan terus

dipancarkan untuk 50 tahun atau lebih setelah limbah ditempatkan di TPA (Crawford dan Smith 1985). Produksi gas mungkin dapat bertahan lebih lama lagi, jika jumlah sampah organik yang berada di TPA semakin bertambah [4]. Grafik perkembangan setiap fase pembentukan biogas dapat dilihat pada

Gambar 7.

## 2.2. Sistem Dinamik

Pemodelan dan simulasi dengan pendekatan sistem dinamik dapat dilakukan dengan penggunaan komputer dalam membuat analisa dan model suatu sistem/kebijakan. Sistem dinamik memiliki ciri adanya saling ketergantungan antar variabel, interaksi mutualisme, umpan balik informasi, dan hubungan sebab akibat [6].

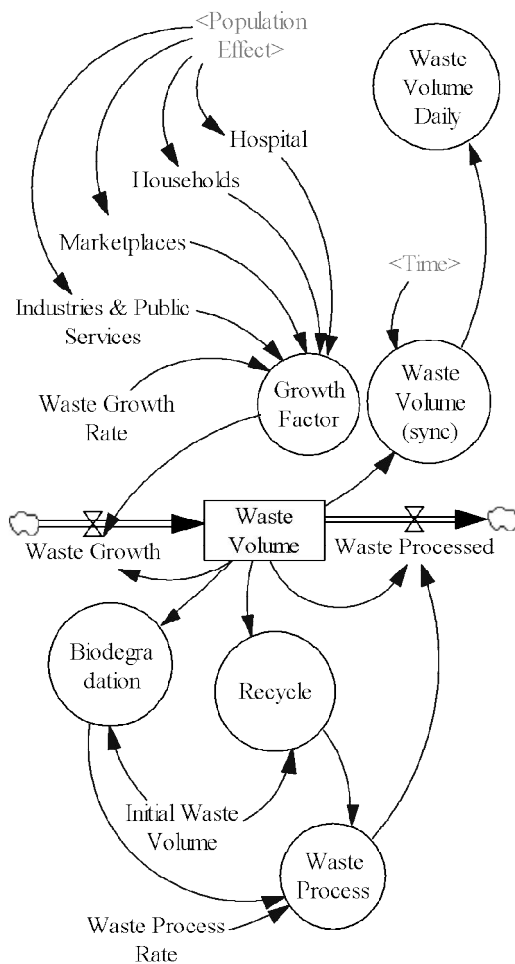
Penggunaan pendekatan ini diawali dengan pendefinisian permasalahan dalam suatu sistem secara kontinyu, yang selanjutnya variabel-variabel yang sangat berpengaruh diidentifikasi dan dimodelkan. Apabila variable-variable telah mencakup target pembahasan, maka dapat dilakukan pengembangan SFD (Stock and Flow Diagram) untuk identifikasi variabel akumulasi (level), dan aliran proses masuk dan/atau keluar (rate) dalam sistem. SFD dikembangkan menjadi model dan disimulasikan dengan bantuan komputer untuk menentukan skenario dan kebijakan yang berlaku dari model yang dihasilkan.[6]

### 2.2.1. SFD volume sampah TPAS Talangagung

Untuk memprediksi biogas yang dihasilkan, perlu dilakukan prediksi volume sampah tahunan yang dikirim ke TPAS Talangagung. Rasio sumber sampah yang dikirim ke TPAS Talangagung sebagian besar berasal dari perumahan yaitu sekitar 67,4%, diikuti sejumlah 22,7% kiriman berasal dari pasar, dan sebagian kecil berasal dari rumah sakit 3,4%, diikuti sejumlah 6,4% dari industri serta fasilitas umum [1].

Sebagian besar volume sampah di TPAS Talangagung diolah untuk produksi biogas dan sisanya diproses untuk daur ulang seperti untuk pembuatan kompos [2]. Bagan hubungan antar variabel yang berpengaruh dalam perhitungan volume sampah dapat dilihat di Gambar 8.

Simulasi yang dilakukan Adipraja dan Islamiyah menggunakan sistem dinamik telah divalidasi dengan hasil E1 menunjukkan angka 2,33% dan E2 menunjukkan angka 0.76% dimana hal ini dinyatakan bahwa simulasi tersebut telah valid. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa diperkirakan volume sampah pada tahun 2025 berkisar pada 162 ribu M<sup>3</sup> dan pada tahun 2035 diperkirakan mencapai angka 341 ribu M<sup>3</sup> [1].



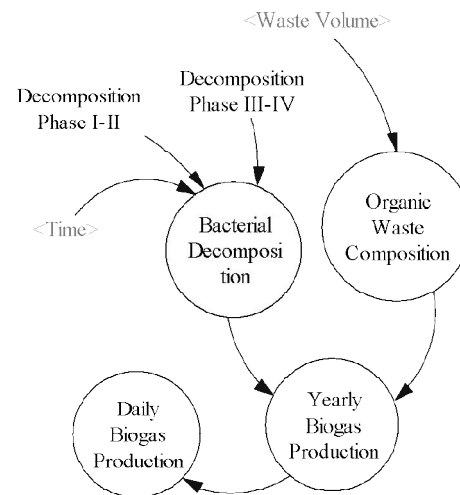
Gambar 8. SFD Volume Sampah [1]

### 2.2.2. SFD produksi biogas

Tingkat produksi dan volume gas yang dihasilkan pada tempat pembuangan akhir bergantung pada karakteristik sampah seperti komposisi dan umur sampah [4]. Pada

sampah perkotaan, umumnya rasio sampah organik sebesar 48-70% [3][7][8][9][10], diikuti sisanya yaitu sampah non-organik. Dimana pada TPAS Talangagung volume sampah organik rata-rata sebesar 53% [2].

Saat sampah ditimbun, sampah akan mulai diuraikan oleh bakteri, dimana fase pertama dan kedua penguraian oleh bakteri mulai berjalan hingga 30-40 hari. apabila fase kedua telah selesai, sampah akan menjadi fase ketiga dan keempat dimana proses akan terjadi dalam waktu yang cukup lama yaitu hingga 20 tahun [5]. Pada Gambar 9 terlihat beberapa variabel yang berpengaruh untuk menentukan produksi biogas tahunan.



Gambar 9. SFD Produksi Biogas

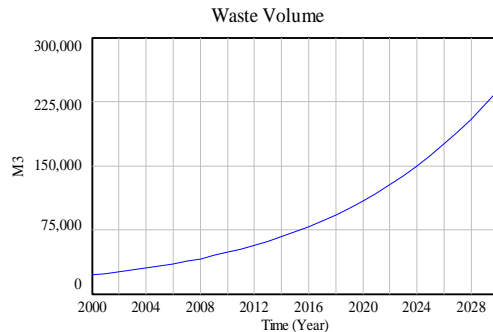
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil simulasi menunjukkan bahwa volume sampah akan terus meningkat. Sampah tersebut akan dipilah dan dimasukkan ke dalam zona pengolahan sampah hingga penuh. Grafik peningkatan volume sampah beberapa tahun kedepan dapat dilihat pada Gambar 10.

Apabila zona telah penuh, sampah akan ditimbun dengan tanah dan proses penguraian akan berjalan pada bulan pertama penimbunan. Sampah lain yang dikirim ke TPAS talangagung akan dipilah dan dimasukkan ke dalam zona lainnya.

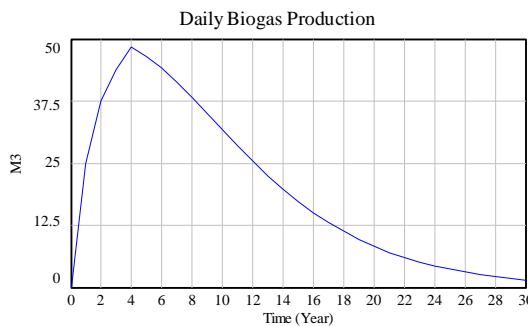
Zona yang telah dalam fase 3 mulai menghasilkan biogas yang dapat digunakan untuk menggerakkan generator listrik ataupun didistribusikan menuju pemukiman.

Hasil prediksi biogas pada salah satu zona di TPAS Talangagung menunjukkan bahwa biogas akan mencapai puncak pada tahun ke 4. Produksi biogas akan semakin berkurang seiring waktu dan akan mulai habis pada tahun ke 20 [5] dimana produksi biogas sudah dibawah 25% terhitung dari produksi tertinggi pada tahun kelima.



Gambar 10. Grafik Prediksi Volume Sampah Tahunan [1]

Hasil prediksi biogas pada tahun kelima di TPAS Talangagung menunjukkan sampah menghasilkan biogas sekitar  $45 \text{ M}^3$  dalam satu hari. Hasil prediksi biogas harian TPAS Talangagung dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Grafik Prediksi Produksi Biogas harian (dalam Tahun)

Dengan melihat prediksi volume sampah yang kian meningkat pada tahun ke tahun, maka zona sampah TPAS Talangagung yang berada dalam fasa 4 cukup didiamkan hingga tahun ke 13 yang mana dalam grafik menunjukkan biogas yang dihasilkan hanya sebesar 50% atau  $20.9 \text{ M}^3$ . Pada tahun ke-14, zona dapat dikeruk dan digunakan untuk memasukkan sampah yang

baru untuk mendapatkan kadar biogas yang lebih tinggi lagi pada awal fase 3 dan 4.

#### 4. SIMPULAN

Rata-rata sampah perkotaan yang dikirim ke TPAS Talangagung berkisar antara 53% sampah organik yang siap diolah. Sampah organik ini dapat digunakan untuk sebagai bahan pembuatan biogas. Biogas dihasilkan dari proses penguraian sampah oleh bakteri yang dibagi menjadi 4 fase. Fase pertama dan kedua merupakan fase awal yang menghasilkan biogas dalam jumlah wajar. Namun produksi biogas akan mencapai puncak pada fase 3 dan 4 [5]. Pada fasa 4, biogas akan terus dihasilkan hingga 20 tahun. Dari hasil simulasi, biogas akan mencapai puncak produksi tertinggi pada tahun kelima. Produksi biogas dalam tahun keempat mencapai  $45 \text{ M}^3$  per hari. Namun karena terbatasnya lahan pengolahan sampah, perlu adanya pembatasan lama fasa produksi, dimana sampah pada fasa 4 diprediksi menghasilkan biogas kurang dari 50% pada tahun ketigabelas. Zona yang telah memproduksi biogas selama 13 tahun sudah dapat diganti dengan sampah yang baru untuk regenerasi produksi biogas dan juga untuk mengurangi tumpukan sampah baru yang diperkirakan akan terus meningkat seiring waktu [1].

#### 5. SARAN

Pada penelitian ini hanya menghitung faktor-faktor inti seperti karakteristik sampah saja. Maka untuk penelitian selanjutnya perlu diperhitungkan faktor-faktor yang juga berpengaruh dalam proses pembentukan biogas TPA seperti faktor kadar oksigen di TPA, kandungan kelembaban, suhu dan waktu ketika sampah diganti. Serta dalam penelitian selanjutnya dapat diintegrasikan dalam manajemen tiap zona TPAS untuk simulasi waktu regenerasi sampah baru.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. F. E. Adipraja and M. Islamiyah, "Prediksi Volume Sampah TPAS

- Talangagung dengan Pendekatan Sistem Dinamik,” *SMATIKA*, vol. 6, no. 2, pp. 24–28, 2016.
- [2] DCKTR, *Profil TPA Wisata Edukasi Talangagung Kepanjen Kabupaten Malang*. Malang: Dinas Cipta Karya dan Tata Ruang, 2014.
- [3] H. A. Qdais, F. Abdulla, and L. Qrenawi, “Solid Waste Landfills as a Source of Green Energy: Case Study of Al Akeeder Landfill,” *Jordan J. Mech. Ind. Eng.*, vol. 4, no. 1, pp. 69–74, 2010.
- [4] ATSDR, *Landfill Gas Primer: An Overview for Environmental Health Professionals*, no. November. Atlanta: Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2001.
- [5] J. Markovic and S. Stevovic, “The Process of Creation and Analysis of The Lanfill Gas From The Landfill in The Region of Pchinja,” *J. Process. Energy Agric.*, vol. 20, no. 2, pp. 63–68, 2016.
- [6] G. P. Richardson, *Encyclopedia of Operations Research and Management Science: System Dynamics*. 2013.
- [7] C. Mgimba and A. Sanga, “Municipal Solid Waste Composition Characterization For Sustainable Management Systems In Mbeya City, Tanzania,” *Int. J. Sci. Environ. Technol.*, vol. 5, no. 1, pp. 47–58, 2016.
- [8] R. Chandrappa and D. B. Das, “Solid Waste Management,” *Environ. Sci. Eng.*, 2012.
- [9] B. A. Hakami and E. S. A. Seif, “Household Solid Waste Composition and Management in Jeddah City, Saudi Arabia: A planning model,” *Int. Res. J. Environ. Sci.*, vol. 4, no. 1, pp. 1–10, 2015.
- [10] M. A. A. Samah, L. A. Manaf, A. Ahsan, W. N. A. Sulaiman, P. Agamuthu, and J. L. D’Silva, “Household Solid Waste Composition in Balakong City, Malaysia: Trend and Management,” *Polish J. Environ. Stud.*, vol. 22, no. 6, pp. 1807–1816, 2013.