

Prediksi Potensi Pencemaran Pengolahan Sampah dengan Metode Gasifikasi *Fluidized Bed* (Studi Kasus: TPA Benowo, Surabaya)

Lailatun Nikmah dan I.D.A.A. Warmadewanthi

Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: warma@its.ac.id

Abstrak— Sistem pengelolaan sampah di TPA Benowo masih bersistem *open dumping* dan belum memperhatikan dampak pencemaran terhadap lingkungan. Kuantitas sampah yang masuk ke TPA sebesar 461.705,782 ton pada tahun 2012. Kuantitas sampah diperkirakan meningkat sebanding dengan pertumbuhan penduduk, sehingga dibutuhkan skenario pengolahan sampah yang ramah lingkungan. Skenario pengolahan sampah yang akan dikaji adalah gasifikasi *fluidized bed*. Potensi pencemaran gasifikasi *fluidized bed* akan dikaji menggunakan metode *Life Cycle Assessment (LCA)* dengan *software SimaPro* versi 7.1. Satu ton sampah pada studi ini ditentukan sebagai satu fungsi unit. Data input *Life Cycle Inventory (LCI)* meliputi jumlah sampah yang masuk ke reaktor gasifikasi dan energi yang dibutuhkan pada proses gasifikasi berdasarkan pendekatan efisiensi reaktor gasifikasi. Penentuan nilai *Life Cycle Impact Assessment (LCIA)* meliputi *Global Warming Potential (GWP)* dan asidifikasi menggunakan metode *Environmental Product Declarations (EPD) 2008*. Besar dampak dinyatakan dalam faktor emisi yang ekuivalen. Kesimpulan pada penelitian ini menunjukkan bahwa skenario pengolahan sampah dengan metode gasifikasi *fluidized bed* memberikan dampak GWP sebesar 1067,8 kg CO₂/fu pada fase *start-up* dan 875 kg CO₂/fu pada fase *energy recovery* serta asidifikasi sebesar 5,93 kg SO₂/fu pada fase *start-up* dan 4,81 kg SO₂/fu pada fase *energy recovery*.

Kata Kunci— Asidifikasi, gasifikasi *fluidized bed*, *Life Cycle Assessment (LCA)*, *Global Warming Potential (GWP)*.

I. PENDAHULUAN

SISTEM *landfilling* merupakan pengelolaan sampah yang paling mencemari dan merupakan kontributor utama terjadinya pemanasan global dan asidifikasi. Potensi pencemaran tersebut berasal dari proses degradasi sampah yang menghasilkan emisi CH₄ secara langsung [1,2].

Emisi dari kegiatan penimbunan sampah di TPA Benowo menyebabkan Pemerintah Kota Surabaya merencanakan pemanfaatan sampah pada TPA Benowo. Sampah akan dimanfaatkan sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Sampah dengan metode gasifikasi. Gasifikasi merupakan proses pengubahan biomassa/sampah padat menjadi gas produser yaitu CO, H₂, CO₂, dan HC secara termokimia [3].

Pada proses gasifikasi terjadi pemecahan rantai karbon dari biomassa menjadi gas CO, CO₂, CH₄ dan H₂ [4]. Gas CO₂ dan CH₄ merupakan gas rumah kaca yang berpotensi sebagai kontributor pada pemanasan global [5]. Skenario pengolahan sampah dengan metode gasifikasi juga berpotensi terjadinya asidifikasi yang selanjutnya berkontribusi terjadinya hujan asam [6].

Life Cycle Assessment (LCA) merupakan suatu proses yang sistematis untuk mengidentifikasi, mengukur dan menilai dampak lingkungan seluruh siklus hidup suatu produk, proses atau aktivitas [7]. Pada penelitian ini digunakan metode LCA untuk memprediksi besarnya dampak asidifikasi dan pemanasan global oleh pengolahan sampah dengan metode gasifikasi. Metode LCA juga dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan pengolahan sampah dengan metode gasifikasi yang ramah lingkungan.

II. URAIAN PENELITIAN

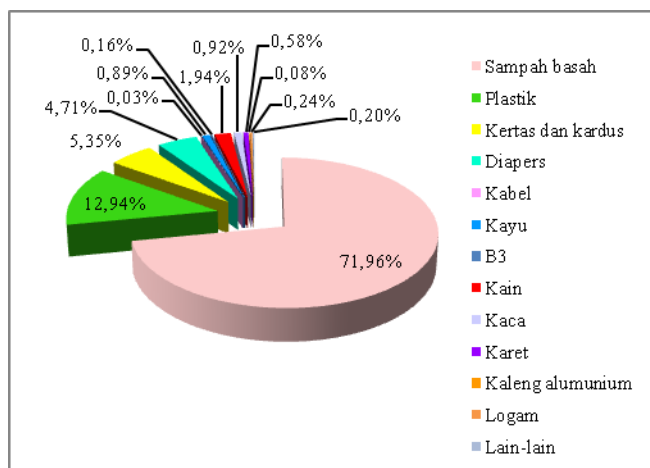
Metoda penelitian yang digunakan untuk memprediksi potensi pencemaran skenario pengolahan sampah dengan metode gasifikasi *fluidized bed* berdasarkan prosedur LCA [8]. Empat tahapan pada LCA adalah (1) tujuan dan ruang lingkup (*Goal dan Scope definition*), (2) *Life cycle inventory (LCI)*, (3) *Life Cycle Impact Assessment (LCIA)*, (4) *Interpretation*.

Data-data untuk melakukan tahap LCI dan LCIA diperoleh dari hasil penelitian di lapangan, di laboratorium serta studi literatur. Data literatur meliputi data efisiensi reaktor pada proses gasifikasi.

A. Tujuan dan Ruang Lingkup (*Goal dan Scope definition*)

Tujuan penelitian ini untuk menganalisis potensi pencemaran skenario pengolahan sampah perkotaan dengan metode gasifikasi *fluidized bed* terhadap lingkungan. Fungsi fungsi (fu) yang digunakan pada penelitian ini sebesar satu ton sampah yang akan digasifikasi.

Kegiatan diluar lingkup LCA seperti transportasi sampah, distribusi gas dan produk sampingan serta sampah yang tidak masuk dalam reaktor gasifikasi tidak dibahas dalam inventarisasi pada LCA maupun pada *software SimaPro*. Lingkup potensi pencemaran pada penelitian ini meliputi GWP dan asidifikasi (SO₂) ke udara.



Gambar. 1. Persentase Komposisi Sampah Kota Surabaya

Tabel 1.

Hasil analisis laboratorium karakteristik fisik sampah TPA Benowo

Analisis	Parameter	Satuan (w/w)	Nilai
Proximate Analysis	Kadar Air	%	58,90
	Volatil Solid	%	82,91
	Kadar Abu	%	17,09
	Nilai Kalor		
	Sampah Organik	kcal/kg	2741,25

Tabel 2.

Hasil analisis laboratorium karakteristik kimia sampah TPA Benowo

Analisis	Parameter	Satuan (w/w)	Nilai
Ultimate Analysis	Total Karbon	%	49,78
	Hidrogen	%	5,53
	Nitrogen*	%	2,82
	Oksigen	%	45,59

*Laboratorium Kualitas Lingkungan, Teknik Lingkungan-ITS, 2012

B. Inventarisasi Siklus Hidup (Life Cycle Inventory)

LCI merupakan proses inventarisasi data-data yang dibutuhkan pada saat proses gasifikasi yaitu sebagai berikut:

a. Berat masing-masing komposisi sampah.

Berat masing-masing komposisi sampah dilakukan berdasarkan metode teori perempatan dengan jumlah sampah sebesar 100 kg [9] selama 8 hari berturut-turut berdasarkan SNI 19-3964-1995.

b. Kuantitas sampah yang digunakan.

Kuantitas sampah yang digunakan adalah sampah yang masuk pada TPA Benowo pada tahun 2012. Sampah yang dapat digasifikasi hanya terbatas sampah organik, sehingga sampah anorganik masuk ke *landfill*.

c. Power listrik yang digunakan selama proses gasifikasi.

Power listrik pada gasifikasi *fluidized bed* ditentukan berdasarkan pendekatan kuantitas sampah, dan efisiensi reaktor pada proses gasifikasi.

Tabel 3.

Hasil analisis laboratorium karakteristik kimia sampah TPA Benowo

No	Jenis sampah	Berat Sampah tahun 2012 (ton)	Kebutuhan listrik (GWh/tahun) pada proses Gasifikasi <i>Fluidized Bed</i> sampah organik
Sampah basah			103
1	Sisa makanan	310497,14	
2	Sampah kebun	21757,88	
Plastik			
3	Plastik HDPE	27529,21	
4	Plastik LDPE	12408,34	
5	Plastik PER	0,00	
6	Polystyrene	1315,86	
7	Plastik campuran	18497,09	
Kertas dan kardus			
8	Kertas office paper	952,27	
9	Koran	5771,32	
10	Majalah	57,71	
11	Buku	230,85	
12	Papan bahan kertas	7935,57	
13	Kertas campuran	9753,53	
14	Diapers	21757,88	
15	Kayu	4126,50	
16	Kain	8945,55	
17	Karet	2683,66	

C. Prakiraan Dampak (Life Cycle Impact Assesment)

Emisi yang dihasilkan pada tahap LCI dinyatakan dalam kategori dampak GWP (emisi CH₄ dan CO₂) dan asidifikasi (emisi SO₂). Perkiraan dampak pada penelitian ini menggunakan *software* SimaPro versi 7.1 dengan metode *Environmental Product Declarations* (EPD) 2008.

D. Interpretation.

Interpretation bertujuan untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi hasil analisa potensi pencemaran skenario pengelolaan sampah perkotaan dengan metode gasifikasi terhadap lingkungan pada TPA Benowo.

III. HASIL DAN DISKUSI

Hasil penelitian komposisi sampah di lapangan tersaji pada Gambar 1. Hasil pengujian karakteristik fisik dan kimia sampah di laboratorium dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Sampah basah yang terdiri dari sampah sisa makanan dan sampah kebun (Gambar 1) memiliki persentase tertinggi yaitu 71,96%. Sampah plastik terdiri dari plastik HDPE, LDPE, PET, polystyrene serta plastik campuran sebesar 12,94%. Sampah kertas dan kardus terdiri dari kertas office paper, koran, majalah, buku, papan bahan kertas serta kertas campuran sebesar 5,35%. Komposisi sampah TPA Benowo selengkapnya terdapat pada tabel 4.

Tabel 4 Hasil analisis komposisi sampah TPA Benowo

No	Jenis sampah	Persentase komposisi sampah (%)								Rata-rata (%)
		1	2	3	4	5	6	7	8	
Sampah basah										
1	Sisa makanan	71,5	66,5	74	75	72	61	57,5	60,5	67,25
2	Sampah kebun	5	7,4	6,2	2,8	4,3	6	3,8	2,2	4,71
Plastik										
3	Plastik HDPE	6	7,5	3	4,7	5,2	8	4	9,3	5,96
4	Plastik LDPE	0,5	0,8	1	1,2	1,4	5	8,2	3,4	2,69
5	Plastik PET	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
6	Polystyrene	0,2	0,5	0,3	0,35	0,4	0,25	0,15	0,13	0,29
7	Plastik campuran	4,5	3,85	2,75	4,1	4,2	3,65	5,1	3,9	4,01
Kertas dan kardus										
8	Kertas office paper	0	0,05	0	0,5	0	0,1	0	1	0,21
9	Koran	0,5	0,4	0,3	1,3	0,7	2,6	2	2,2	1,25
10	Majalah	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0,01
11	Buku	0,3	0	0	0,1	0	0	0	0	0,05
12	Papan bahan kertas	1,4	1,6	1,75	2	0,8	2,9	0,4	2,9	1,72
13	Kertas campuran	0,6	0,5	1,2	1,8	2,6	2,7	5,5	2	2,11
14	Diapers	5,2	4,4	3	2,5	4,8	4,2	7,4	6,2	4,71
15	Kabel	0	0	0	0	0,15	0	0	0,1	0,03
16	Kayu	0,2	0,7	1,8	0,8	0,5	0,15	2	1	0,89
17	B3	0,2	0,1	0,4	0,05	0,25	0,1	0,03	0,15	0,16
18	Kain	2,3	2,3	1,9	1	1	2,1	3	1,9	1,94
19	Kaca	0,5	2	1	1	0,7	0,25	0,4	1,5	0,92
20	Karet	0,4	1,2	1	0,55	0,2	0,5	0,1	0,7	0,58
21	Kaleng alumunium	0	0	0	0	0	0	0,1	0,5	0,08
22	Logam	0,5	0,02	0,05	0,05	0,6	0,4	0,2	0,1	0,24
23	Lain-lain	0,2	0,18	0,35	0,1	0,2	0,1	0,12	0,32	0,20
Total		100	100	100	100	100	100	100	100	100,0
18	Kain	2,3	2,3	1,9	1	1	2,1	3	1,9	1,94
19	Kaca	0,5	2	1	1	0,7	0,25	0,4	1,5	0,92
20	Karet	0,4	1,2	1	0,55	0,2	0,5	0,1	0,7	0,58
21	Kaleng alumunium	0	0	0	0	0	0	0,1	0,5	0,08
22	Logam	0,5	0,02	0,05	0,05	0,6	0,4	0,2	0,1	0,24
23	Lain-lain	0,2	0,18	0,35	0,1	0,2	0,1	0,12	0,32	0,20
Total		100	100	100	100	100	100	100	100	100,0

Inventarisasi data untuk input *software* SimaPro (Tabel 3) meliputi kuantitas masing-masing komposisi sampah dan energi listrik pada proses gasifikasi. Data kuantitas masing-masing komposisi sampah diperoleh dari hasil perkalian data sekunder (persentase masing-masing komposisi sampah) dengan kuantitas sampah pada tahun 2012 yaitu 461.705,782 ton.

Kebutuhan listrik (Tabel 3) diperoleh berdasarkan buku [10]. dengan efisiensi proses sebesar 75,15% [11]. Kebutuhan listrik masing-masing skenario sebanding dengan tonase sampah yang masuk dalam reaktor gasifikasi.

Prakiraan dampak (LCIA) skenario pengolahan sampah perkotaan dengan metode gasifikasi *fluidized bed* menggunakan *software* SimaPro. Metode yang digunakan untuk mengkuantifikasi hasil dampak adalah EPD 2008. Hasil output dari *software* SimaPro yaitu kuantitas dampak GWP pengolahan sampah dengan metode gasifikasi *fluidized bed* sebesar 1067,8 kg CO₂/fu pada fase *start-up* dan 875 kg CO₂/fu pada fase *energy recovery* serta asidifikasi sebesar 5,93 kg SO₂/fu pada fase *start-up* dan 4,81 kg SO₂/fu pada fase *energy recovery*.

IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

Pengolahan sampah dengan metode gasifikasi *fluidized bed* memberikan dampak GWP sebesar 1067,8 kg CO₂/fu pada fase *start-up* dan 875 kg CO₂/fu pada fase *energy recovery* serta asidifikasi sebesar 5,93 kg SO₂/fu pada fase *start-up* dan 4,81 kg SO₂/fu pada fase *energy recovery*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada penyedia dana penelitian melalui Daftar Isian Pelaksanaan Anggaran (DIPA) ITS Tahun 2012.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. Liamsangan dan S. H. Gheewala, "The Holistic Impact of Integrated Solid Waste Management on Greenhouse Gas Emissions in Phuket," *Journal of Cleaner Production*, Vol. 16, No. 17 (2008) 1865-1871.
- [2] F. Cherubini, S. Bargigli dan S. Ulgiati, "Life Cycle Assessment Of Urban Waste Management: Energy Performances and Environmental Impacts. The case of Rome, Italy," *Waste Manag.*, Vol. 28, No. 12 (2008, Des.) 2552-2564.
- [3] V. Belgiorno, G. De Feo, C. D. Rocca dan R. M. A. Napoli, "Energy from Gasification of Solid Wastes," *Waste Manag.*, Vol. 23, No. 1 (2003) 1-15.
- [4] I. N. S. Winaya, M. Sucipta, dan I. D. M. Susila, "Pengaruh Temperatur Operasi Dan Kecepatan Superfisial Terhadap Komposisi Gas Produser Pada Gasifikasi Fluidized Bed Berbahan Bakar Sampah Terapung," *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Cakra*, Vol. 5, No. 1 (2011, Apr.) 85-90.
- [5] L. He, G. H. Huang dan H. Lu, "Greenhouse Gass Emission Control in Integrated Municipal Solid Waste Management Through Mixed Integer Bilevel Decision-Making," *J. Hazard Mater.*, Vol 193 (2011, Okt.) 112-119.
- [6] M. Gunamantha dan Sarto, "Life Cycle Assesment Pada Sistem Pengelolaan Sampah Di Wilayah Sarbagita, Bali," *Jurnal Purifikasi*, Vol. 11, No.1 (2010, Juli) 41-52.
- [7] Y. Kalinci, A. Hepbasli dan I. Dincer, "Life Cycle Assessment Of Hydrogen Production From Biomass Gasification Systems," *International Journal Of Hydrogen Energy*, Vol. 37, No. 19 (2012, okt.) 1-4.
- [8] *ISO 14040 Environmental Management, Life Cycle Assessment, Principles and Framework*. International Standards Organization, Geneva, Switzerland (1997).
- [9] W. A. Worrel dan P. A. Vesilind., *Solid Waste Engineering*, Stanford, USA: Cengage Learning (2012).
- [10] Gary. G. Young, *Municipal Solid Waste To Energy Conversion Processes Economic, Technical, And Renewable Comparisons*, USA John Wiley & Sons, Inc (2010).
- [11] I. Janajreh, S. S. Raza dan A.S. Valmundsson, "Plasma gasification process: Modeling, simulation and comparison," *Energy Conversion and Management*, Vol. 65 (2013, Jan.) 801-809.