



Jurnal Mekanika dan Sistem Termal (JMST)

Journal homepage: <http://e-journal.janabadra.ac.id/index.php/JMST>

Original Article

Potensi *Waste to Energy* Sampah Perkotaan untuk Kapasitas Pembangkit 1 MW di Propinsi DIY

Wira Widyawidura^{1*}, Jovita Irene Pongoh²

¹ Program Studi Teknik Perminyakan, Fakultas Teknik Universitas Proklamasi 45, Jl. Proklamasi No. 1 Yogyakarta 55281

² Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Proklamasi 45, Jl. Proklamasi No. 1 Yogyakarta 55281

*Corresponding author :

e-mail: wirawidura@gmail.com

Abstract – *The aim of this work was to study the potential of the waste to be converted into electrical energy (waste to energy) with a target capacity of the biomass power plant (PLTBiomassa) of 1MW. This study was focused in DIY province-Indonesia and the organic waste type used is municipal solid waste (MSW) that collected at the landfill area. The method used in this paper is by calculating the number of waste based on the composition of waste and finding the potential of electrical power that can be converted from each type of waste through thermochemical and biochemical conversion process. The amount of waste collected in the landfill in DIY province have been sufficient to fulfill target of 1 MW electrical power. The potential of power generated by MSW in landfill are 1541.97 kW generator with 1039.95 kW for thermochemical system (gasification technology) and 502.02 kW for biochemical system (anaerobic digestion).*

Keywords – *Waste to energy; Organic waste; Gasification; Biogas.*

1. Pendahuluan

Pemakaian energi fosil secara besar besaran serta temuan cadangan sumber daya yang masih stagnan menyebabkan krisis energy fosil di Indonesia khususnya minyak bumi. Energi minyak bumi menepati urutan pertama dalam komposisi bauran energy nasional yaitu sekitar 48% dari total bauran energy nasional dan sumber daya minyak bumi yang telah terekspolaris tersebut diprediksi akan habis sekitar 12,26 tahun ke depan (DEN, 2014).

Untuk mengatasi hal ini, pemerintah Indonseia berupaya meningkatkan pemanfaatan energy non-fosil berupa energy baru dan terbarukan (EBT) melalui Peraturan Pemerintah (PP) No. 79/2014 tentang Kebijakan Energi Nasional (KEN) dimana target pemanfaatan EBT pada tahun 2025 meningkat menjadi 23% sedangkan pemanfaatan energy dari minyak bumi menurun menjadi 25%.

Sampai saat ini, belum ada pemanfaatan sampah perkotaan yang terkumpul di TPA untuk dimanfaatkan menjadi energi listrik, padahal jika dilihat dari jumlahnya, limbah organik dari sampah perkotaan maupun pertanian yang ada di Propinsi DIY sangat berpotensi untuk dapat dimanfaatkan menjadi energi listrik (*waste to energy*). Tujuan dari penelitian ini adalah mengkaji kelayakan teknis berupa studi potensi MSW berdasarkan data timbulan sampah dan komposisi sampah.

Data timbulan sampah di Propinsi DIY terangkut ke tempat pembuangan akhir sampah atau TPA dapat dilihat pada tabel 1 (Mulasari et.al., 2014). Untuk mengetahui potensi sampah berdasarkan kriteria jenis sampah yaitu organik atau non organik perlu diketahui komposisi sampah yang ada di TPA. Purwanta (2009) telah meneliti komposisi sampah di TPA piyungan berdasarkan % massa dengan nilai seperti yang terlihat pada tabel 2.

Tabel 1. Data timbulan sampah di Provinsi DIY (Mulasari et. al., 2014)

Kabupaten/Kota	Jumlah Penduduk (jiwa)	Volume Sampah (m ³ /hari)	Volume Sampah Berdasarkan Jumlah Penduduk (m ³ /hari)	Sampah Terangkut (m ³ /hari)	Massa Jenis Sampah TPA (kg/m ³)*	Konversi ke Massa (Ton)	TPSA
Yogyakarta	541.250	320	487	170		41,97	Piyungan
Sleman	850.176	2.918	2.125	280		69,13	Piyungan
Bantul	1.020.363	2.551	2.551	49	246,9	12,03	Piyungan
Kulon Progo	388.755	70	972	70		17,28	Banyuroto
Gunung Kidul	424.348	334	1.061	57		14,07	Baleharjo

*) Asumsi berdasarkan data massa jenis sampah di TPA Jatibarang, Kota Semarang (Handayani et. al., 2009)

Tabel 2. Komposisi pada TPA di DIY (Purwanta, 2009)

Komponen sampah	Jumlah komposisi (%)
Paper and cardboard	4,07
Textiles	1,45
Foodwaste	16,37
Wood	0,95
Garden and parkwaste	49,46
Nappies	3,10
Rubber and leather	0,79
Plastic, metals, glass, and others	23,81
Total	100,00

Data komposisi sampah tersebut dapat dijadikan pendekatan untuk mendapatkan data umum komposisi sampah di TPA yang ada di Provinsi DIY.

Ditinjau dari karakteristik bahan bakar yang dikonversi menjadi energi listrik, biomassa dari sampah padat organik dapat dibedakan menjadi dua jenis proses yaitu proses konversi termokimia dan biokimia. Menurut Barz (2008), konversi termokimia dari biomassa membutuhkan bahan bakar dengan *high heating value* dan kandungan air yang rendah sedangkan konversi biokimia menggunakan biomassa yang mempunyai kandungan air yang tinggi karena mikroorganisme yang membantu dekomposisi dari biomassa sangat membutuhkan kondisi yang basah.

Proses konversi termokimia dengan teknologi insinerasi dikenal juga dengan istilah “pembakaran massa” dimana panas dari proses pembakaran digunakan untuk mengubah air menjadi uap panas yang kemudian digunakan untuk menggerakkan steam turbin generator untuk menghasilkan listrik (Jain et.al., 2014), sedangkan teknologi gasifikasi diperoleh melalui pembakaran parsial biomassa dengan lingkungan yang sedikit oksigen dan menghasilkan produk gas (*syngas*) berupa CO, CO₂, H₂O, *char*, tar, dan hidrogen (IRENA, 2012). Turunan dari gasifikasi adalah teknolog pirolisis dimana pembakaran parsial ditahan pada suhu yang lebih rendah daripada

gasifikasi sehingga menghasilkan bio-oil yang dapat digunakan untuk bahan bakar pembangkit listrik (IRENA, 2012). Suhu operasional dari ketiga teknologi sistem termokimia ini yaitu 850 - 1200°C untuk insinerasi, 550-1600 °C untuk gasifikasi, dan 500 - 800°C untuk pirolisis (Arena, 2012).

Proses konversi biokimia melalui teknologi anaerobic digestion membutuhkan bantuan mikroba dalam mengurai limbah organik menjadi biogas (CH₄ dan CO₂) dimana gas metana dari biogas ini mudah dikonversi menjadi energi panas dan listrik, bahkan dapat dalam bentuk *compressed natural gas* (CNG) untuk dapat dijadikan bahan bakar moda transportasi (Davis et.al., 2014). Gas metana dapat terbentuk pada suhu mesofilik (32-42 °C) dan termofilik (50-58 °C) serta dengan kondisi C:N rasio berkisar antara 20-30 (Deublein et. al., 2008). Parameter fisika kunci pada sistem konversi termokimia dan biokimia terkait karakteristik MSW dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Parameter kunci kelayakan teknis pengembangan energi biomassa (Johri et. al., 2011)

Metode Pengolahan Sampah	Prinsip Dasar	Parameter Kunci	Kisaran yang diharapkan
Konversi secara termokimia: Insinerasi, pirolisis, dan gasifikasi	Dekomposisi zat organik melalui perlakuan panas	Moisture content	< 45 %
		Organic/volatile matter	> 40 %
		Fixed carbon	< 15 %
		Total inerts	< 35 %
		Calorific value (net calorific value)	> 1200 kcal/kg
Konversi secara biokimia: <i>Anaerobic digestion (biomethanation)</i>	Dekomposisi zat organik melalui aksi mikroba	Moisture content	> 50%
		Organic/volatile matter	> 40%
		C:N ratio	25 - 30

Tabel 4. Parameter dan perhitungan dalam menentukan daya listrik dari PLTBiomassa dengan sistem termokimia

Parameter	Nilai	Satuan	Keterangan:	Referensi data
Total waste quantity (<i>W</i>)	Total timbulan sampah x % komposisi sampah	ton	Berdasarkan Data timbulan sampah DIY yang masuk ke TPA dan data komposisi sampah	(Mulasari, Husodo, & Muhadjir, 2014) dan (Purwanta, 2009)
Net Calorific Value (<i>NCV</i>)	1.625,24	kcal/kg		(Haukohl, Rand, & Marxen, 1999)
Energy recovery potential (<i>ERP</i>)	$NCV \times W \times (1000/860)$	kWh		
Power generation potential (<i>P</i>)	$ERP/24$	kW	Asumsi penggunaan 24 jam	
Conversion Efficiency (<i>CE</i>)	25	%	Menggunakan gas engine	(Barz, 2008)
Potensi daya listrik (P_{el})	$CE \times P$	kW		

Tabel 5. Parameter dan perhitungan dalam menentukan daya listrik dari PLTBiomassa dengan sistem biokimia

Parameter	Nilai	Satuan	Keterangan	Referensi data
Waste quantity (<i>w</i>)	Total timbulan sampah x % komposisi sampah	ton	Berdasarkan Data timbulan sampah DIY yang masuk ke TPA dan data komposisi sampah	(Mulasari, Husodo, & Muhadjir, 2014) dan (Purwanta, 2009)
Volatile Solid (<i>VS</i>)	31,36	%		(Khairuddin, Manaf, Hassan, Halimoon, & Karim, 2015)
Organic biodegradable fraction (<i>OBF</i>)	66	%		(Johri, Rajeshwari, & Mullick, 2011)
Digestion efficiency (<i>DE</i>)	55	%		(MNES, 2006)
VS destroyed (<i>VSD</i>)	$w \times VS \times OBF \times DE \times 1000$	kg		
Typical biogas yield (<i>B</i>)	$0,8 \text{ (m}^3/\text{kg)} \times VSD$	m ³		(Johri, Rajeshwari, & Mullick, 2011)
Calorific value of biogas (<i>CV</i>)	4475	kcal/m ³		(Aydi, 2012)
Energy recovery potential (<i>ECP</i>)	$B \times CV/860$	kWh		
Power generation potential (<i>P</i>)	$ECP/24$	kW	Asumsi penggunaan: 24 jam	
Conversion efficiency (<i>CE</i>)	25	%	Menggunakan gas engine	(Barz, 2008)
Potensi daya listrik (P_{el})	$CE \times P$	kW		

2. Metode Penelitian

Pada penelitian ini, parameter utama yang digunakan untuk menghitung nilai potensi daya listrik dari PLTBiomassa untuk proses termokimia adalah: (1) total timbulan sampah di TPA; (2) komposisi sampah; (3) *net calorific value*-NCV (tabel 4). Jenis sampah digunakan adalah berupa sampah organik yang susah terurai secara microbial serta sampah anorganik. Parameter utama dalam menghitung potensi daya listrik untuk PLTBiomassa sistem biokimia adalah (1) total timbulan sampah di TPA; (2) komposisi sampah; (3) *Volatile solid* (VS); (4) *Organic biodegradable fraction*; (5) *VS destroyed*; *biogas yield*; *calorific value* dari biogas (tabel 5). Setelah mendapatkan potensi WTE dari MSW, maka tahap selanjutnya adalah menguji kelayakan teknis untuk memperoleh target daya listrik 1 MW pada masing masing proses konversi. Caranya yaitu melalui komparasi

kelebihan dan kekurangan pada masing-masing sistem konversi ditinjau dari karakteristik sampah, potensi daya pembangkit serta ketersediaan bahan bakar sampah itu sendiri.

3. Hasil dan Pembahasan

Dari hasil perhitungan daya output pembangkit untuk proses konversi termokimia maupun biokimia berdasarkan tabel 4 dan 5, maka didapatkan potensi daya listrik yang dihasilkan dari masing masing komposisi sampah seperti pada tabel 6. Dari data tersebut, potensi sampah organik yang paling tinggi untuk dikonversi menjadi energi listrik adalah jenis sampah yang berasal dari tanaman (*garden and parkwaste*) yaitu sebesar 377,47 kW atau 24,47% dari potensi total sampah, kemudian diikuti oleh sampah dari sisa makanan (*foodwaste*) yaitu sebesar 124,93 atau 8,10% dari potensi total sampah. Kedua sampah tersebut diproses dengan sistem konversi

biokimia yaitu menggunakan teknologi *anaerobic digestion* yang menghasilkan gas metana (CH₄) untuk dapat dikonversi menjadi energi listrik

Tabel 6. Potensi daya listrik untuk setiap komposisi sampah yang terkumpul di TPA di Provinsi DIY

Komponen sampah	Komposisi (%)	Massa (ton)	Proses konversi	Potensi Daya Listrik (kW)
Paper and cardboard	4,07	6,29	termokimia (19,7 x w)	123,87
Textiles	1,45	2,24	termokimia	44,13
Foodwaste	16,37	25,29	biokimia (4,94 x w)	124,93
Wood	0,95	1,47	termokimia	28,91
Garden and parkwaste	49,46	76,41	biokimia	377,47
Nappies	3,10	4,79	termokimia	94,35
Rubber and leather	0,79	1,22	termokimia	24,04
Plastic, metals, glass, and others	23,81	36,78	termokimia	724,65
Total	100,00	154,49		1542,35

Adapun untuk proses termokimia, potensi sampah untuk menjadi energy listrik adalah sampah jenis sampah anorganik (*Plastic, metals, glass, and others*) yaitu sebesar 724,65 kW atau 46,98% dari potensi total sampah. Sampah organik yang diproses secara termokimia yang mempunyai potensi daya paling tinggi adalah jenis sampah kertas dan kardus (*paper and cardboard*) yaitu sebesar 123,87 kW atau 8,03% dari potensi total sampah.

Sifat fisis sampah di Indonesia adalah bersifat basah karena Indonesia berada pada zona iklim *tropical wet* (Purwanta, 2009). Kondisi sampah yang basah ini juga dapat disebabkan karena belum adanya sistem pengelolaan sampah dari hulu ke hilir yang memadai. Masyarakat belum menyadari akan pentingnya melakukan pemilahan sampah di rumahnya masing-masing. Sampah yang masih tercampur antara sampah organik (kandungan air tinggi) dengan non organik (kandungan air rendah) menyebabkan pemilahan sampah di TPA juga tidak efektif.

Berdasarkan pertimbangan karakteristik sampah, maka diperlukan pemilihan teknologi yang tepat untuk sistem konversi termokimia maupun biokimia serta tipe mesin konversi yang sesuai untuk diterapkan pada PLTBiomassa. Tabel 7 di bawah adalah data rangkuman potensi daya listrik PLTBiomassa sampah TPA di Yogyakarta, pemilihan teknologi, pemilihan mesin efisiensi mesin konversi beserta efisiensi, dan kebutuhan bahan baku untuk pengembangan PLTBiomassa.

Tabel 7. Rangkuman potensi timbulan sampah TPA di Provinsi DIY pada sistem konversi WTE termokimia dan biokimia

Parameter	Proses konversi	
	Termokimia	Biokimia
Jenis teknologi	Gasifikasi	<i>Anaerobic Digestion</i> (Biogas)
Tipe mesin konversi	Gas engine	Gas engine
Efisiensi konversi (CE)	25%	25%
Massa bahan bakar (sampah) PLTBiomassa	52,79 ton	101,70 ton
Faktor konversi	19,7 x w	4,94 x w
Daya listrik pembangkit (P _{el})	1039,95 kW	502,02 kW

Dari target daya pembangkit sebesar 1 MW, maka jumlah timbulan sampah yang terkumpul di TPA di Provinsi DIY mempunyai sudah potensi yang memadai yaitu dengan total potensi daya pembangkit dari sistem termokimia (gasifikasi) dan biokimia (*Anaerobic Digestion/biogas*) sebesar 1541,97 kW. Terdapat kelebihan dan kelemahan dari masing-masing sistem proses konversi yang dijelaskan sebagai berikut apabila hanya ingin menerapkan salah satu sistem proses konversi:

Alternatif 1 (Menggunakan PLTBiomassa sistem termokimia): sistem ini dapat memenuhi dapat kebutuhan daya listrik 1 MW hanya dengan bahan bakar berupa sampah yaitu sebesar 52,79 ton. Kekurangannya adalah sampah organik yang digunakan masih harus dicampur dengan sampah anorganik agar dapat memenuhi kebutuhan kalornya yaitu mencapai 36,78 ton. Butuh peralatan pra treatment. Karakteristik sampah di Indonesia pada umumnya mempunyai kandungan air (*moisture content*) sebesar 60 -70% (Pasek, Gultom, & Suwono, 2013). Hal ini menyebabkan pengurangan efisiensi proses gasifikasi sehingga dibutuhkan fasilitas pengeringan sampah (*drying*) terlebih dahulu sebelum masuk ke instalasi gasifikasi (proses pre-treatment).

Alternatif 2. (Menggunakan PLTBiomassa sistem biokimia): Kondisi TPA di Indonesia secara umum adalah basah baik karena air hujan maupun karena komposisinya yang berupa sampah mudah teruraikan (*organic degradable*) yang berasal dari rumah tangga yaitu 50-60 % (berat basah) dari total sampah TPA, sehingga sampah yang terkumpul di TPA sangat berpotensi menghasilkan gas CH₄ dalam jumlah yang banyak (Purwanta, 2009 dan (Damanhuri, Handoko, & Padmi, 2014)) sehingga efisiensi konversi energi dapat meningkat. Kelemahan menggunakan sistem ini adalah kapasitas daya listrik dari pembangkit yang tidak mencapai 1 MW yaitu hanya sebesar 502,02 kW dengan membutuhkan 101,70 ton atau sekitar 65,83% dari total timbulan sampah di TPA. Untuk memenuhi target daya pembangkit sebesar 1MW, diperlukan bahan baku tambahan pada reactor biogas yang

berasal dari non-MSW seperti limbah sludge yang berasal dari pengolahan air limbah (IPAL) komunal dan limbah pertanian dimana keduanya mempunyai potensi gas metana yang cukup tinggi.

Kedua jenis sistem proses konversi tersebut mempunyai kendala utama yaitu dari segi pemilahan sampah yang belum terpilah berdasarkan jenis sampah (komposisi sampah) dengan baik ketika sampai di TPA. Sampah yang tidak terpilah dengan baik akan mengurangi efisiensi pada sistem konversi energi serta akan menambah biaya untuk sistem pemilahan di TPA. Pemilahan sampah harus dilakukan dari mulai sumber sampah terbentuk yaitu di rumah tangga, perkantoran, industry, dan pertanian. Hal ini akan meminimalkan resiko akumulasi pencampuran sampah yang tinggi di TPA.

4. Kesimpulan

Jumlah timbulan sampah yang berasal dari sampah perkotaan (MSW) di Provinsi DIY dapat memenuhi kebutuhan energi listrik untuk target daya pembangkit sebesar 1 MW yaitu dengan dengan total potensi daya pembangkit dari sistem termokimia (gasifikasi) dan biokimia (*Anaerobic Digestion*) sebesar 1541,97 kW. Sistem konversi termokimia mencapai daya listrik pembangkit sebesar 1039,95 kW dan sitem konversi biokimia hanya mencapai 502,02 kW. Agar model pengembangan PLTBiomassa berbahan bakar sampah perkotaan dapat diterapkan dengan baik dan berkelanjutan, maka diperlukan beberapa penelitian lanjutan yang bertujuan untuk mendapatkan data primer mengenai karakteristik sampah baik secara fisik maupun kimia, kajian kelayakan ekonomis, dan kajian sosial budaya TPA di Provinsi DIY.

Daftar Pustaka

- Arena, U. (2012). *Process and technological aspects of municipal solid waste gasification. A review*. Waste Management (32), 625-639.
- Aydi, A. (2012). *Energy Recovery from a Municipal Solid Waste (MSW) Landfill Gas: A Tunisian Case Study*. Hydrol Current Res, 3(4), 2-3.
- Barz, M. (2008). *Biomass Technology for Electricity Generation in Community*. International Journal of Renewable Energy, III(1), 1-10.

- Damanhuri, E., Handoko, W., & Padi, T. (2014). *Municipal Solid Waste Management in Asia and the Pacific Islands*. (A. Pariatamy, & M. Tanaka, Eds.) Singapore: Springer-Verlag Singapore.
- Davis, S. C., Hay, W., & Pierce, J. (2014). *Biomass in The Energy Industry: An Introduction*. BP p.l.c.
- DEN. (2014). *Ketahanan Energi Indonesia Tahun 2014*. Jakarta: Dewan Energi Nasional.
- Deublein, D., & Steinhauser, A. (2008). *Biogas from Waste and Renewable Resources*. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- Handayani, D. S., Budisulistiorini, S. H., & Nuraini, M. R. (2009). *Kajian Nilai Ekonomi Penerapan Konsep Daur Ulang pada TPA Jatibarang Kota Semarang*. Jurnal PRESIPITASI, VII(2), 35-44.
- Haukoel, J., Rand, T., & Marxen, U. (1999). *World Bank Technical Guidance Report: Municipal Solid Waste Incineration*. Washington: The International Bank for Reconstruction.
- IRENA. (2012). *Biomass for Power Generation (Renewable Energy Technologies: Cost Analysis Series)* (Vol. 1). Germany: The International Renewable Energy Agency.
- Jain, P., Handa, K., & Paul, A. (2014). *Studies on Waste-to-Energy Technologies in India & a detailed study of Waste-to-Energy Plants in Delhi*. International Journal of Advanced Research, II(1), 109-116.
- Johri, R., Rajeshwari, V. K., & Mullick, A. N. (2011). *Waelth from Waste: Trends and Technologies* (3rd ed.). (B. Lal, & P. M. Sarma, Eds.) New Delhi: TERI Press.
- Khairuddin, N., Manaf, A. L., Hassan, M. A., Halimoon, N., & Karim, W. A. (2015). *Biogas Harvesting from Organic Fraction of Municipal Solid Waste as a Renewable Energy Resource in Malaysia: A Review*. Pol. J. Environ. Stud, 24(4), 1477-1490.
- MNES. (2006). *Green Energy from Wastes: Biomethanation Projects for Urban and Industrial Wastes Set Up under UNDP/GEF assisted Project on Development of High Rate Biomethanation Processes as means of Reducing Greenhouse Gases Emission*. New Delhi: Ministry Of Non - Conventional Energy Sources
- Mulasari, A. S., Husodo, A. H., & Muhadjir, N. (2014). *Government Policy in Domestic Waste Management*. Jurnal Kesehatan Masyarakat Nasional, VIII(8), 404-410.
- Pasek, A. D., Gultom, K. W., & Suwono, A. (2013). *Feasibility of Recovering Energy from Municipal Solid Waste to Generate Electricity*. J. Eng. Technol. Sci, 45(3), 241-256.
- Purwanta, W. (2009). *Penghitungan Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) dari Sektor Sampah Perkotaan di Indonesia*. J. Tek. Ling, X(1), 1-8.