Jurnal Penelitian Transportasi Laut

pISSN 1411-0504 / eISSN 2548-4087

Journal Homepage: http://ojs.balitbanghub.dephub.go.id/index.php/jurnallaut

Desain Kapal Apung untuk Pembangkit Listrik Berbasis Limbah
Design Floating Ship for Waste-Based Power Generation

Shahrin Febrian[*1)], Ayom Buwono[2)], Muswar Muslim[3)]

[1,2,3)]Fakultas Teknologi Kelautan Universitas Darma Persada
Jalan Taman Malaka Selatan, Pondok Kelapa, Jakarta Timur 13450

Diterima: 1 Mar-19, diperiksa 18 mar-19, disetujui 18 Juni-19

Abstrak

Sampah dan polusi udara yang berasal dari kendaraan bermotor telah menjadi sebuah masalah besar di berbagai kota besar. Limbah dapat diproses menjadi energi listrik dengan teknologi fisika plasma dan untuk mengurangi ketergantungan pada sewa lahan yang mahal pada lingkungan perkotaan maka kapal dapat dimanfaatkan sebagai struktur bangunan terapung di atas laut. Menggunakan metode deskriptif analitik dan desain kebutuhan kapal terapung didapat kalkulasi yang diestimasikan dari energi listrik yang dapat dihasilkan dari 11.686,56 ton sampah/hari adalah 581,306 MW, yang mana dapat mencukupi 15,5% dari listrik di wilayah DKI dimana total kapasitas terpasangnya adalah 3748,40 MW.
Kata Kunci: energi listrik, plasma, kapal, limbah

Abstract

Garbage and air pollution comes from motor vehicles has become a major problem in many big cities. Waste can be processed into electrical energy and plasma physics technology to reduce dependence on expensive land lease on the urban environment so ship can be used as building structures floating on the sea. Using descriptive analytic methods and the design of the floating vessel, it was estimated calculation of electrical energy that can be generated from 11686.56 tons of garbage/day was 581.306 MW, which could meet 15.5% of the electricity in the city where the total area is 3748.40 MW installed capacity.
Keywords: electrical energy, plasma, ship, garbage

1. Pendahuluan

Salah satu masalah besar perkotaan adalah semakin menumpuknya sampah akibat limbah industri dan rumah tangga yang mengganggu kenyamanan masyarakat kota, disamping masalah-masalah lainnya. Selain itu sampah sangat berperan penting dalam pengaruh kesehatan manusia yang dapat mengakibatkan berbagai macam penyakit yang berbahaya, seperti penyakit kulit, kolera, diare, leptospirosis dan penyakit menular lainnya. Oleh karenanya sampah perlu adanya penanganan khusus untuk dapat dicegah dampak buruknya bagi umat manusia. Oleh sebab itu sampah harus dapat dimanfaatkan untuk hal yang bermanfaat bagi manusia, misalnya menghasilkan produk daur ulang dan diolasumber energi sebagai pembangkit listrik (Pirngadie, 2015). Ada beberapa konsep pemanfaatan sampah dapat diberikan menjadi tiga, yaitu: konsep pemanfaatan kembali (*recycle*), penggunaan kembali materi (*reuse*) dan pemulihan energi (*energy recovery*) yang terkandung dalam sampah.

Secara definisi *Reuse* adalah upaya memperpanjang penggunaan suatu produk baik dalam bentuk semula maupun bentuk yang sudah dimodifikasi. *Reuse* dapat dilakukan dengan cara memperbaiki produk yang sudah rusak atau habis masa pakainya, misal vulkanisir ban. *Reuse* juga dapat dilakukan dengan menggunakan kemasan suatu produk untuk digunakan menjadi kemasan produk lain, misalnya botol air mineral yang dipakai untuk menjadi botol cat. Pelaksanaan *reuse* tidak mengembalikan produk tersebut ke industri. Upaya *reuse* lebih dekat pada upaya mengurangi jumlah sampah.

Proses daur ulang (*recycle*) sampah atau sampah yang tidak dapat dipakai lagi mulai masuk ke aliran pengelolaan sampah. Beberapa jenis sampah seperti plastik dan kertas, dengan suatu teknologi tertentu, dapat

* Corresponding author. Tel: +62 0812 8786 1856
E-mail: shahrin_febrian@ftk.unsada.ac.id

doi: http://dx.doi.org/10.25104/transla.v21i1.964
1411-0504 / 2548-4087 ©2017 Jurnal Penelitian Transportasi Laut.
Diterbitkan oleh Puslitbang Transportasi Laut, Sungai, Danau, dan Penyeberangan, Balitbang Perhubungan, Kementerian Perhubungan
Artikel ini disebarluaskan di bawah lisensi CC BY-NC (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

dimanfaatkan kembali sebagai bahan baku suatu produk. Proses yang mengubah sampah tersebut menjadi bahan baku industri lain disebut *recycle* atau daur ulang.

Sementara itu Pemulihan kembali (*energy recovery*) material atau energi dapat dilakukan melalui berbagai bentuk. Secara prinsip *recycle* dan *recovery* mempunyai kesamaan yaitu mengembalikan kembali material ke suatu industry sedangkan perbedaannya adalah *recycle* memerlukan pemisahan material yang didaur ulang dari sampah, sedangkan *recovery* tidak memerlukan upaya pemisahan tersebut. Salah satu bentuk konsep *recovery* adalah pemanfaatan sampah menjadi energi. Sampah mengandung material organic dan material anorganik. Energi yang terkandung dalam fraksi organik dapat dipulihkan melalui suatu pengelolaan yang terpola.

Dalan kaitannya dengan hal ini, ada beberapa teknologi pengelolaan sampah seperti proses konversi termokimia digunakan untuk sampah yang memiliki persentasi material organik non *bio-degradable* yang tinggi serta kadar air yang rendah. Teknologi penting yang termasuk dalam kategori ini adalah: insinerasi dan pirolisis/gasifikasi (Zhang et.al. 2012). Adapun konversi biokimia dipilih untuk sampah yang memiliki persentase material organik *biodegradable* yang tinggi dan kadar air tinggi. Teknologi utama kategori ini adalah *anaerobic digestion* atau sering juga disebut biometanisasi.

Parameter utama yang menentukan potensi pemulihan energi dari sampah, termasuk sampah kota, adalah jumlah/kuantitas sampah dan karakteristik fisik kimia (kualitas) sampah (Leal-Quiros, 2004). Energi aktual yang dihasilkan tergantung dari pengolahan spesifik dan karakteristik yang berkaitan dengan parameter utama diatas. Karakteristik fisik dimaksud adalah ukuran (*size of constituents*), kepadatan (*density*) dan kadar air. Semakin kecil ukuran sampah semakin mempercepat penguraian sampah tersebut.

Sampah dengan kepadatan tinggi mereflesikan kadar organik *biodegradable* dan kadar air yang tinggi. Disisi lain kepadatan yang rendah menunjukkan proporsi kehadiran plastik, kertas dan bahan mudah terbakar lainnya. Kadar air tinggi mengakibatkan fraksi sampah *biodegradable* lebih cepat terurai dibandingkan dalam kondisi kering. Hal ini menunjukkan pula bahwa sampah dengan kadar air yang tinggi tidak cukup layak untuk konversi termokimia seperti insenerasi dan pirolisis.

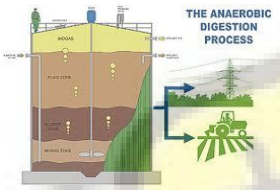
Parameter kimia penting yang menentukan dalam melihat potensi pemulihan energi dan kelayakan pengolahannya melalui upaya konversi biokimia atau termokimia adalah: volatil solid, kandungan karbon, nilai kalor, rasio C/N dan *toxicity*. Tabel 1 memperlihatkan parameter dan kisaran nilainya untuk menentukan metode pengolahan sampah, dimana tabel 1 ini merupakan salah satu langkah awal untuk menganalisis pertimbangan pemilihan teknologi.

Tabel 1. Parameter Teknis Dalam Penentuan Metode Pengolahan Sampah

Metode Pengolahan Sampah	Metode Dasar	Metode Penting Sampah	Kisaran Nilai yang Menentukan
Konversi termokimia: Insenerasi, Pirolisis, Gasifikasi	Penguraian material organik dengan pemanasan	Kadar air Material organik Fix karbon Nilai kalori bersih	< 45% > 40% < 15% > 1200 Kcal/kg
Konversi Biokimia: Anaerobik digestion/ biometanisasi	Dekomposisi material organik	Kadar air Material organik C/N rasio	>50% >40% 25-30

Berdasarkan tabel 2, untuk kondisi sampah di Indonesia yang relatif basah, maka teknologi pemulihan energi yang tepat diterapkan adalah *Anaerobic Digestion* (AD) (Damanhuri dan Padmi, 2010). AD adalah proses biologis yang sering terjadi/dimanfaatkan pada pengolahan air limbah untuk mendegradasi dan menstabilkan lumpur. Secara umum AD sudah lama digunakan, khususnya di daerah perdesaan, untuk memproduksi biogas yang hasilnya dipakai untuk memasak dan penerangan. Di negara Cina dan India, AD dengan skala kecil sudah banyak dipakai untuk mengolah limbah rumah tangga sekaligus untuk mendapatkan biogasnya. Sedangkan untuk skala besar (perkotaan), saat ini sudah banyak negaranegara maju di Eropa yang menerapkan metoda ini untuk mengelola sampah perkotaannya sekaligus mendapatkan hasil samping berupa biogas yang dimanfaatkan untuk penggerak generator listrik (Dewi, 2017).

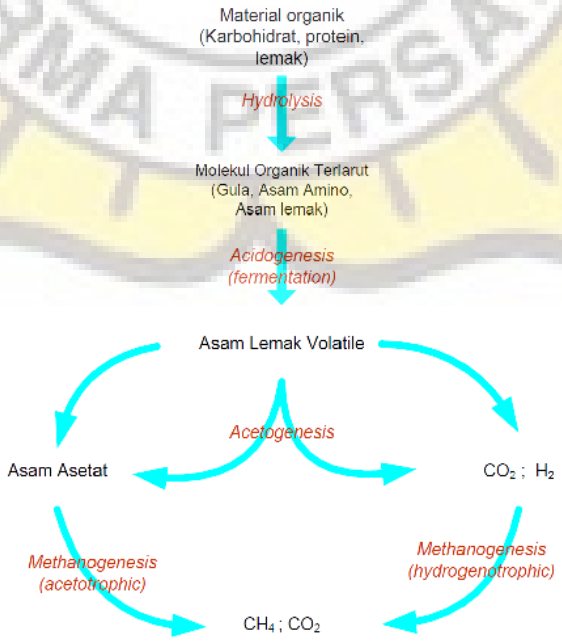
Tabel 2. Teknologi Pemanfaatan Sampah Menjadi Energi

Media Pengolahan	Jenis Limbah	Hasil
	Sampah Kering Kadar Air (< 20%): - Sampah rumah tangga - Sampah perkantoran - Sampah daerah komersil Sampah industri	Produk yang dihasilkan: - Uap - Listrik - Debu
	Sampah Kering ke Lembab Kadar Air (< 50%): - Sampah rumah tangga - Sisa makanan - Sampah pertanian	Low Med BTU - Gas - Arang
	Sampah Lembab ke Basah Kadar Air (> 50%): - Sampah rumah tangga - Sisa makanan - Sampah pertanian	Medium BTU - Gas - Compos

Biodegradasi unsur-unsur organik adalah hal yang umum terjadi di alam, proses ini selalu melibatkan mikroorganisme. Jika material organik diuraikan oleh bakteri aerob maka prosesnya disebut oksidasi dan menghasilkan CO_2 dan H_2O. Apabila prosesnya dilakukan oleh mikroorganisme *anaerob*, dengan tanpa kehadiran oksigen, maka bahan organic didegradasi oleh mikroba tersebut menjadi CO_2 dan Methan AD pada material organic dilakukan oleh sekumpulan mikroorganisma secara sinergis. Proses *digestion* terdiri dari 4 tahapan, yaitu: *Hydrolisys*, *Acidogenesis*, *Acetogenesis*, dan *Methanogenesis*, tahapan tersebut diperlihatkan pada Gambar 1.

Proses *hydrolysis*, protein makro molekul berukuran besar, seperti lemak dan polimer karbohidrat (sukrosa dan tepung) dipecah melalui proses *hidrolysis* menjadi asam amino, asam lemak, dan gula. 2. Berikutnya, zat/unsur hasil proses *hydrolysis* tersebut difermentasikan dalam proses *acidogenesis* untuk membentuk tiga, empat dan lima *carbon volatile fatty acid*, seperti *lactic*, *butyric*, *propionis* dan asam *volaric*. 3. Tahap selanjutnya adalah *acetogenesis*. Pada proses ini bakteri mengkonsumsi hasil fermentasi dan menghasilkan asam asetat, karbon dioksida, dan hidrogen. 4. Terakhir, organisma *methanogenetik* mengkonsumsi asetat, hidrogen, dan karbon dioksida untuk memproduksi methan. Terdapat tiga senyawa biokimia yang terjadi pada tahapan *methanogenesis* ketika memproduksi gas methan, pola tersebut adalah:

1. Acetotrophic methanogenesis : $4\ CH_3COOH \rightarrow 4\ CO_2 + 4\ CH_4$
2. Hydrogenotrophic methanogenesis : $CO_2 + 4\ H_2 \rightarrow CH_4 + 2\ H_2O$
3. Methylotropicmethanogenesis : $4\ CH_3OH + 6\ H_2 \rightarrow 3\ CH_4 + 2\ H_2O$



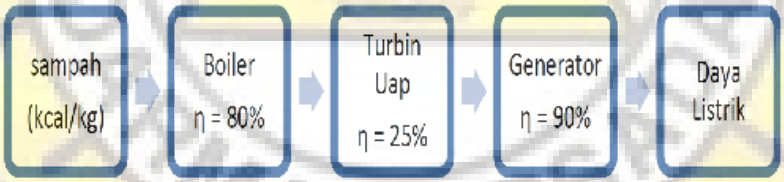
Gambar 1. Proses dan Pola *Anaerobic Digestion*

Penelitian ini mencoba membantu pemerintah dalam penanganan tersebut dengan membuat sebuah teknologi pengolahan sampah yang dapat dimanfaatkan menjadi energi listrik yang nantinya dapat digunakan oleh masyarakat perkotaan. Salah satu teknologi pemanfaatan sampah adalah teknologi plasma seperti yang telah dilakukan peneliti Minutillo et. al. (2009) dan Umberto Arena (2012) yang membahas tentang teknologi proses gasifikasi plasma untuk pengolahan sampah. Penelitian ini melakukan desain kapal atau benda terapung di air yang dapat berfungsi sebagai alat pengolah limbah yang di konversi menjadi sebuah energi yang akhirnya dirubah menjadi energi listrik. Kapal pembangkit listrik berbasis limbah ini yang merupakan penerapan Energi Baru dan Terbarukan (EBT) ini yang rencananya output dari pengolahan listrik dari Genset diatas kapal pembangkit listrik tersebut akan digunakan untuk mengaliri listrik ke wilayah penelitian yaitu DKI Jakarta.

Gambar 2. Kapal Rancangan

2. Metode

Perhitungan dilakukan dengan menggunakan blok diagram masing-masing alat konversi energi dengan efisiensi masing-masing seperti diperlihatkan pada Gambar 3**.** Asumsi efisiensi boiler sampah dibuat berdasarkan harga tipikal *boiler* batubara yang beroperasi dengan sistem yang sama. Asumsi ini dianggap realistis karena pertimbangan efisiensi *boiler* batubara konvensional yang dapat mencapai 85%. Sedangkan efisiensi turbin uap dibuat berdasarkan efisiensi siklus Rankine yang berkisar antara 25%-30%. Maka dipilih angka 25% untuk faktor keamanan dalam perhitungan dan efisiensi generator dipilih 90%**.** Untuk tingkat efisiensi pada boiler atau ketel uap tingkat efisiensinya berkisar antara 70% hingga 90%**.**



Gambar 3. Blok Diagram Proses

3. Hasil dan Pembahasan

Menurut data BPS (2016), Jumlah Sampah yang masuk ke TPA setiap hari adalah sebesar 11.686,56 ton/hari dan Nilai NCV hasil perhitungan sebesar 5.706,5 kcal/kg. Perhitungan Potensi Energi Listrik menggunakan teori Ducharme dan Themelis (2010) yang dihasilkan dari sampah adalah sebagai berikut:

Energi thermal masuk *boiler* (E) = Nilai kalor x Jumlah sampah

$$E = \frac{(5706{,}5kcal/kg)\times(11686{,}56ton/hari)\times(1000kg/ton)\times(1hari/24\,jam)}{860.42} = 3.229.479{,}61KW$$

Catatan: 860,42 merupakan konversi satuan

Daya bersih (W_{net}) = Energi thermal masuk *boiler* x η_b x η_t x η_g

$$W_{net} = 3.229.479{,}61\times 0{,}8\times 0{,}25\times 0{,}9 = 581.306{,}32KW = 581{,}306MW$$

4. Kesimpulan

Berdasarkan data pengelolaan sampah yang dikeluarkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup dari tahun 2017-2018 jumlah sampah untuk wilayah DKI Jakarta yaitu 11.686.56 ton per hari dapat menghasilkan daya listrik sebesar 581,306 MW atau 15,5% dari kapasitas terpasang untuk wilayah DKI sebesar 3748,40 MW. Dengan demikian dengan adanya pemanfaatan sampah ini beban pembangkit listrik yang dimiliki oleh PLN dapat berkurang.

Daftar Pustaka

Arena, U. 2012. Process and technological aspects of municipal solid waste gasification. A review. *Waste management*, *32*(4), 625-639.

Badan Pusat Statistik Provinsi DKI Jakarta. 2016. Jakarta dalam Angka. ISSN: 0215.2150, Nomor Publikasi: 31000.1601, Katalog BPS/BPS Catalogue: 1102001.31.

Damanhuri, E., & Padmi, T. 2010. Pengelolaan sampah. *Diktat kuliah TL*, *3104*, 5-10.

Dewi, R. P. 2015. Studi Potensi Pemanfaatan Sampah Organik Tpa Banyuurip Tegalrejo Sebagai Salah Satu Sumber Energi. *Jurnal Teknik Mesin Mercu Buana*, *6*(3), 155-157.

Ducharme, C., & Themelis, N. 2010. Analysis of thermal plasma-assisted waste-to-energy processes. In *18th Annual North American Waste-to-Energy Conference* (pp. 101-106). American Society of Mechanical Engineers Digital Collection.

Leal-Quirós, E. (2004). Plasma processing of municipal solid waste. *Brazilian Journal of Physics*, *34*(4B), 1587-1593.

Minutillo, M., Perna, A., & Di Bona, D. 2009. Modelling and performance analysis of an integrated plasma gasification combined cycle (IPGCC) power plant. *Energy Conversion and Management*, *50*(11), 2837-2842.

Pirngadie, B. H., Unpas, D. P., & Supriatna, N. K. 2015. Potensi Pemanfaatan Sampah Menjadi Listrik Di TPA Cilowong Kota Serang Provinsi Banten. *Ketenagalistrikan dan Energi Terbarukan*, *14*(2), 103-116.

Zhang, Q., Dor, L., Fenigshtein, D., Yang, W., & Blasiak, W. 2012. Gasification of municipal solid waste in the Plasma Gasification Melting process. *Applied Energy*, *90*(1), 106-112.