



OPTIMASI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SAMPAH BERBASIS TEKNOLOGI CO-GASIFIKASI THERMAL DENGAN REFUSE DERIVED-FUEL SEBAGAI SOLUSI PERMASALAHAN SAMPAH DAN LINGKUNGAN

*Optimization of Waste Power Plants Based on Thermal Co-Gasification Technology with
Refuse Derived-Fuel as a Solution to Waste and Environmental Problems*

¹⁾Irna Nurfadhilah, ²⁾Lia Marlina, ³⁾Lisfi Lutfiah, ⁴⁾Shella Fajri Zahra

^{1,3,4)}Program Studi D4 Teknologi Pembangkit Tenaga Listrik, Jurusan Teknik Konversi Energi, Politeknik
Negeri Bandung.

²⁾Program Studi D3 Teknik Kimia, Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Bandung.

*Email: irna.nurfadhilah.tptl18@polban.ac.id

*Correspondence: irna.nurfadhilah.tptl18@polban.ac.id

DOI:

ABSTRAK

Histori Artikel:

Diajukan:
26/11/2021

Diterima:
28/11/2021

Diterbitkan:
28/02/2022

Refuse Derived Fuel (RDF) merupakan bahan bakar yang dihasilkan dari bermacam jenis limbah terutama sampah perkotaan (municipal solid waste). RDF dihasilkan dari pemisahan fraksi yang mudah terbakar (combustible fraction) dan fraksi sampah yang sulit dibakar (non-combustible fraction) secara mekanik. Berdasarkan Synthesis Report Indonesia Marine Debris Hotspot Tahun 2018 ditemukan bahwa komposisi MSW Indonesia secara rata-rata memiliki karakter komposisi MSW sampah organik sebanyak 63,18%, diikuti oleh plastik, kertas, kayu, logam, kaca dan lainnya yang masing-masing sebanyak 13,16%; 8,75%; 6,97%; 1,06%; 0,99% dan 3,17%. Maka dengan karakteristik sampah tersebut, metode Refuse Derived-Fuel merupakan teknologi pre-treatment yang paling efektif diterapkan di Indonesia saat ini khususnya pada proses co-gasifikasi sebagai bahan bakar Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSA) existing di Indonesia.

Kata kunci: Sampah Perkotaan; Refuse Derived-Fuel; lingkungan.

ABSTRACT

Refuse Derived Fuel (RDF) is a fuel produced from various types of waste, especially municipal solid waste (municipal solid waste). RDF is produced by mechanically separating the combustible fraction and the non-combustible fraction. Based on the 2018 Indonesia Marine Debris Hotspot Synthesis Report, it was found that the composition of Indonesian MSW on average has a compositional character of 63,18% organic waste, followed by plastic, paper, wood, metal, glass and others, each of which is 13, 16%; 8.75%; 6.97%; 1.06%; 0.99% and 3.17%. So with the characteristics of the waste, the Refuse Derived-Fuel method is the most effective pre-treatment technology applied in Indonesia today, especially in the co-gasification process as fuel for existing Waste Power Plants (PLTSA) in Indonesia.

Keywords: Urban Garbage; Refuse Derived-Fuel; environment.

PENDAHULUAN

Sampah adalah material yang tidak diinginkan dari suatu proses yang menghasilkan bau busuk dan juga tempat bertumbuhnya kuman. Sehingga sampah menghasilkan dampak negatif bagi

lingkungan hidup. Penumpukan sampah saat ini di TPA merupakan masalah sosial yang terjadi di masyarakat akibat terjadinya proses produksi secara terus menerus, didukung oleh perilaku masyarakat yang konsumtif dan tentu karena penanganannya yang kurang baik (Safira, 2021).

Menurut Data Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, di Tahun 2020 timbunan sampah di Indonesia akan menembus angka 67,8 juta ton per tahun dengan sampah plastik yang diprediksi menembus 9.52 ton per tahunnya. Dirjen Pengelolaan Sampah, Limbah dan Bahan Berbahaya Beracun, Tuti Hendrawati Mintarsih menyatakan bahwa produksi sampah terus meningkat setiap tahun dengan angka rata-rata kenaikannya menembus 1 juta ton pertahun (Imron, 2019). Artinya, 270 juta orang menghasilkan sekitar 185.753 ton sampah setiap hari. Atau sekitar 0,68kg sampah per penduduk per hari (Yusuf, 2021).

Indonesia saat ini merupakan penghasil sampah plastik terbesar kedua di dunia. Indonesia menghasilkan 3,2 juta ton sampah plastik setiap tahun, yang sebagian besar berakhir di lautan tanpa diolah. Rata-rata setiap penduduk Indonesia bertanggung jawab atas 17,2 kg sampah plastik yang mengapung dan mencemari ekosistem laut (Conservancy, 2018). Tidak hanya di darat, sampah di lautan Indonesia juga menimbulkan dampak yang buruk terutama bagi ekosistem yang ada di laut. Pemerintah melalui Kementerian Kelautan dan Koordinasi Penanaman Modal mengadakan rapat koordinasi pembuangan sampah laut dan pemutakhiran data sampah laut untuk mendukung tujuan nasional pengurangan sampah laut hingga 70% (Sitorus, 2019).

Hal tersebut tentu akan mendatangkan berbagai masalah, diantaranya penyempitan lahan, tercemarnya alam, sulit dicapainya hidup bersih dan sehat, polusi udara, pencemaran tanah, hingga pemanasan global. Dengan data serta potensi masalah yang telah dipaparkan tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa sampah adalah bom waktu yang akan meledak suatu saat bila tidak ditindaklanjuti penanganannya hingga tuntas. Pembangkit Listrik Tenaga Sampah kemudian hadir untuk menjawab permasalahan tersebut dengan mengusung konsep *Waste to Energy*. Sampah yang tidak bernilai dapat dikelola sehingga bernilai guna tinggi. Untuk itu perlu adanya optimasi serta evaluasi terhadap proses pengelolaan sampah pre-treatment sehingga dapat digunakan sebagai bahan bakar pada PLTSa yang aman serta ramah lingkungan. Salah satunya dengan PLTSa berbasis gasifikasi dengan cara mengubah bentuk sampah perkotaan menjadi *Refuse Derived Fuel*.

Memanfaatkan sampah sebagai sumber energi terbarukan merupakan langkah strategis yang perlu dilakukan pemerintah untuk mengatasi jumlah sampah yang dihasilkan dari kegiatan masyarakat yang terus meningkat. Karya tulis ini berupa ide guna merancang peta strategis bagaimana upaya mengoptimalkan sampah yang ada di Indonesia menjadi energi terbarukan mutakhir yang hasil akhirnya dapat membawa manfaat bagi masyarakat luas.

METODE

Penelitian dilakukan dengan studi literatur pada beberapa sumber mutakhir serta diskusi bersama ahli di bidang limbah dan sampah perkotaan sehingga gagasan yang diajukan layak menjadi pertimbangan untuk diterapkan dalam pengelolaan dan pengolahan sampah di Indonesia di masa yang akan datang.

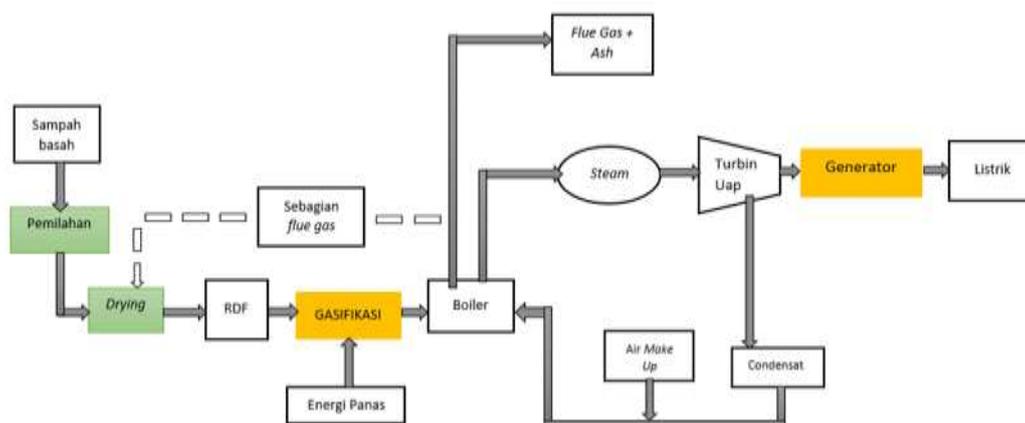
HASIL DAN PEMBAHASAN

Permasalahan sampah di Indonesia semakin hari semakin tak terkendali karena banyaknya limbah sampah yang dihasilkan masyarakat namun tempat pembuangan sampah sangat terbatas. Dan TPA yang ada di Indonesia sudah dalam kapasitas yang maksimal. Hal tersebut tentu akan mendatangkan berbagai masalah, diantaranya penyempitan lahan, tercemarnya alam, sulit dicapainya

hidup bersih dan sehat, polusi udara, pencemaran tanah, hingga pemanasan global. Dengan data serta potensi masalah yang sudah dijabarkan tersebut, maka bias diambil kesimpulan bahwa sampah adalah bom waktu yang akan meledak suatu saat bila tidak ditindaklanjuti penanganannya hingga tuntas.

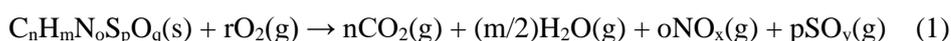
Kemudian pemerintah Indonesia melalui catatan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) diketahui memiliki 12 proyek percepatan instalasi Pengolah Sampah menjadi Energi Listrik (PSEL), baik Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSA) telah beroperasi maupun dalam tahap pembangunan. Sampah perkotaan dikelola sedemikian rupa sehingga kandungan airnya turun, kemudian di proses gasifikasi dilakukan dan dihasilkan syngas yang bisa dipakai sebagai bahan bakar pengganti batubara untuk pembangkit listrik. Dengan berdirinya PLTSA tentu harapannya dapat mengatasi permasalahan sampah, serta membantu pemerintah mencapai target bauran *renewable energy* sebanyak 23% pada tahun 2025.

Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSA) terhitung sebagai program pengelolaan sampah yang baru diterapkan di Indonesia. Sehingga diperlukan banyak studi dan analisa mengenai teknik yang paling tepat dan efisien dalam memanfaatkan sampah di Indonesia. Umumnya, PLTSA menggunakan metode gasifikasi yakni dengan memanfaatkan gas yang keluar dari hasil pembakaran sampah dengan oksigen terbatas atau dapat disebut pembakaran tidak sempurna.



Gambar 1. Skema Proses Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSA) dengan bahan bakar gas hasil gasifikasi RDF

Pembakaran sampah melalui insinerasi secara umum dapat dijabarkan sebagai:



Berikut pembakaran sampah dengan metode gasifikasi:



Pada reaksi (2) terjadi penambahan oksigen secara terbatas yang dimaksudkan untuk mencegah terbentuknya oksida seperti Sox dan NOx seperti reaksi pembakaran sampah metode insinerasi (1) yang kemudian diganti dengan H₂S, Ammonia dan Nitrogen. Reaksi gasifikasi menghasilkan syngas seperti ditunjukkan pada reaksi (2), (3), (4), (5) dan (6) kemudian digunakan sebagai bahan bakar pembangkitan listrik dan menghasilkan produk sampingan berupa ash/abu serta partikel lain tergantung jenis sampah yang digasifikasi.

Tabel 1. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Tahun 2019, mengenai Baku Mutu Emisi Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSA).

No	Parameter	Kadar Maksimum (mg/Nm ³)
1.	Partikulat (PM)	120
2.	Sulfur Dioksida (SO ₂)	210
3.	Nitrogen Dioksida (NO ₂)	470
4.	Hidrogen Klorida (HCl)	10
5.	Merkuri (Hg)	3
6.	Carbon Monoksida (CO)	625
7.	Hidrogen Flourida (HF)	2
8.	Dioksin dan Furan	0.1

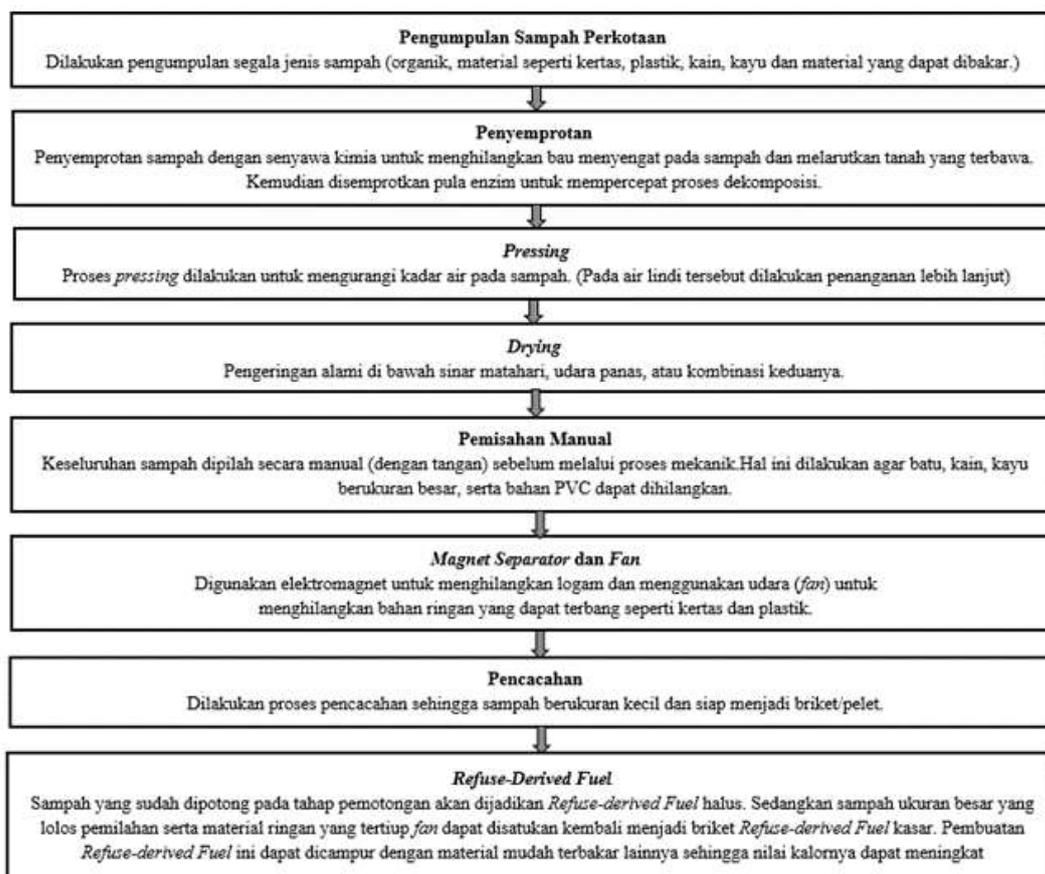
Namun kemudian pencemaran udara akibat berlangsungnya pembakaran *syngas* menjadi kekhawatiran tersendiri bagi masyarakat. Pasalnya, proses gasifikasi sebenarnya memerlukan karakteristik sampah kering dan homogen untuk memperoleh *syngas* yang berkualitas secara efisien. Sedangkan pada praktiknya di Indonesia, karakteristik MSW tercampur dan cenderung basah (karena sebanyak 50-60% merupakan sampah organik). Sehingga proses pengeringan biasa tidak cukup baik untuk proses gasifikasi. Hasilnya, akan lebih banyak lagi limbah yang dihasilkan dari proses tersebut, diantaranya limbah cair (lindi), emisi udara, dan *slag/ash* yang amat berbahaya bagi kelestarian alam dan kesehatan manusia. Maka diperlukan penanganan lebih lanjut berkaitan dengan *pre-treatment* serta *waste-treatment* PLTSA sehingga dapat benar-benar mengatasi permasalahan sampah yang terjadi dan konsep *Waste to Energy* dapat terwujud dengan lebih efektif, efisien serta ramah lingkungan.

Menurut hasil survey yang dilakukan oleh *World Bank* pada publikasi *International Urban Development* tentang komposisi MSW, Indonesia secara rata-rata memiliki karakter komposisi MSW sampah organik sebanyak 70.2%, diikuti oleh kertas, plastik, kaca, logam, dan lainnya yang masing-masing sebanyak 10.9%, 8.7%, 1.7%, 1.9% dan 6.2%. Dengan dominasi sampah organik yang membuat MSW Indonesia memiliki kadar air yang tinggi, akan sulit dihasilkan bahan bakar efisien dari proses gasifikasi tanpa *pre-treatment* khusus. Berdasarkan percobaan yang dilakukan oleh ([Achinis & Kapetanios](#), 2013); ([Corella et al.](#), 2008); Galvano, dkk 2006; ([Morris & Waldheim](#), 1998) yang melakukan gasifikasi bahan bakar dari MSW menggunakan uap sebagai agen gasifikasi untuk menghasilkan *syngas*, didapat bahwa nilai energi *syngas* secara signifikan dipengaruhi oleh rasio kandungan air pada MSW dan temperatur operasi yang digunakan. Maka untuk mendapatkan hasil yang lebih efisien dari proses gasifikasi, diperlukan proses *pre-treatment* khusus. Salah satu metode *pre-treatment* yang dapat diterapkan ialah dengan *Refuse Derived Fuel* (RDF).

Refuse Derived Fuel (RDF) merupakan bahan bakar yang dihasilkan dari berbagai limbah khususnya MSW. RDF diproduksi dengan memisahkan bagian yang mudah terbakar dan tidak mudah terbakar secara mekanis dari limbah. RDF di sisi lain adalah bahan bakar yang terdiri dari limbah yang mudah terbakar yang dipisahkan dari bagian yang sulit terbakar melalui proses penghitungan udara, pengayakan, dan penilaian.

Lebih lanjut, penggunaan RDF dalam proses gasifikasi ini perlu peninjauan lebih lanjut mengingat terdapat produk sampingan yang dihasilkan yaitu *tar compound* yang memiliki karakteristik

cairan kental coklat kehitaman yang dapat menyebabkan kegagalan proses pada mesin. Selain itu proses gasifikasi juga menghasilkan residu solid yang tidak dapat terbakar (*ash*) yang memiliki kandungan karbon rendah, serta produk sampingan yang tidak diharapkan seperti NO_x , *hydrogen sulfide*, dan SO_x . Masalah tersebut dapat diatasi dengan metode co-gasifikasi yang telah dibuktikan oleh (Burra & Gupta, 2018), dimana proses co-gasifikasi dianggap lebih menguntungkan daripada proses gasifikasi bahan bakar konvensional dari MSW. Dengan penambahan material alami lain yang dapat terbakar seperti jerami dan *biochar*, dapat mengurangi aglomerasi cairan anorganik yang biasanya menyebabkan abu yang mengandung kalsium, aluminosilikat dan karbonat menjadi lengket pada dasar reaktor saat RDF di gasifikasi. Selain itu proses co-gasifikasi pada suhu 600-900°C pun dapat meminimalisir pembentukan tar, meningkatkan efisiensi proses dan emisi yang dihasilkan tentu akan lebih ramah lingkungan. Diperkuat oleh (Yang et al., 2021) dalam jurnal penelitiannya menemukan bahwa co-gasifikasi mampu meningkatkan hasil metana dan etilen hingga 78,2% dalam produk gas sehingga terjadi peningkatan pada *Lower Heating Value* (LHV) dari 5,8 menjadi 6,4 MJ/Nm³. Maka penerapan co-gasifikasi pada MSF di Indonesia layak untuk dicoba sehingga PLTSa dapat beroperasi dengan resiko pencemaran lingkungan yang lebih rendah dan menjadi solusi konkrit permasalahan sampah di Indonesia.



Gambar 2. Skema yang menggambarkan proses pembuatan Refuse-Derived Fuel pada sampah perkotaan.

Untuk meminimalisir limbah hasil pengolahan limbah maka diperlukan penanganan lebih lanjut khususnya terhadap limbah material *non combustible* (*ash*). Ash hasil gasifikasi dapat dimanfaatkan menjadi bahan bernilai tinggi seperti paving block yang digunakan sebagai material bangunan. Ash telah digunakan sebagai bahan pengisi (*filler*) pada pembuatan paving block, dan beberapa studi yang berkaitan membuktikan bahwa ash dapat meningkatkan daya kuat tekan pada paving block. Studi lebih lanjut mengenai pemanfaatan limbah dari program Waste to Energy tentu diperlukan agar permasalahan sampah dapat teratasi dengan baik.

A. Pihak-Pihak yang Dipertimbangkan Dapat Membantu Mengimplementasikan Gagasan

Tabel 2. Pihak-pihak yang terkait dalam membantu mengimplementasikan gagasan.

Pihak Terkait	Kontribusi terhadap Implementasi Gagasan
Keluarga	Mulai memilah sampah menjadi beberapa jenis yang terpisah. Dalam skala besar, hal tersebut dapat mengurangi kadar air pada MSW, mengoptimalkan pemanfaatan sampah homogen, serta penanganan sampah yang lebih efektif.
Pihak Swasta	Melakukan pengumpulan sampah rumahan maupun perusahaan, dan turut memproduksi RDF sehingga pasokan bahan bakar PLTSa terjamin ketersediaannya.
Pemerintah Daerah	Melakukan pengumpulan sampah rumahan maupun perusahaan, dan turut memproduksi RDF sehingga pasokan bahan bakar PLTSa terjamin ketersediaannya.
PLN	Memberi kesempatan lebih luas untuk berdirinya PLTSa khususnya yang menerapkan metode co-gasifikasi RDF. Hal tersebut tentu diikuti oleh kajian lebih lanjut terhadap aspek ekonominya.
Kemenristek; ESDM; serta Departemen Pendidikan Nasional	Melakukan pengumpulan informasi serta edukasi terhadap publik terkait penanganan dan pengelolaan sampah terutama untuk PLTSa. Hal tersebut dapat dilakukan pada lembaga formal maupun informal melalui kerja sama dengan komunitas yang memiliki konsentrasi terhadap isu sampah dan lingkungan
Pemerintah dan DPR-RI	Pemerintah sebagai pemegang peran utama dalam proses pengelolaan dan penanganan sampah di Indonesia, perlu mengeluarkan UU khusus terkait pengelolaan sampah baik secara keseluruhan maupun khusus untuk PLTSa

B. Langkah-Langkah Strategis untuk Merealisasikan Gagasan

Langkah-langkah yang paling strategis untuk dilakukan agar gagasan dapat terwujud, berdasarkan pihak-pihak yang terkait di atas adalah sebagai berikut:

1. Pemerintah mengeluarkan kebijakan terkait pengelolaan dan penanganan sampah.

Pemerintah sebagai pemangku kepentingan memiliki peran yang paling strategis dalam mengatasi dan memberi solusi terbaik atas permasalahan sampah yang terjadi. Kebijakan yang diperlukan kini di Indonesia adalah UU yang mengatur mengenai pemilahan sampah skala rumahan atau komunitas, pengelolaan sampah di TPA hingga ke penanganan sampah untuk dimanfaatkan menjadi produk bernilai. Bermula dari kebijakan pemerintah, kemudian bekerja sama secara sinergis dengan masyarakat, masalah sampah dapat diatasi secara efektif dan efisien.

2. Subsidi pemerintah terhadap PLN sehingga PLTSa mendapat kesempatan lebih luas untuk didirikan.

PLN sebagai BUMN yang juga korporat tentu enggan mengalami kerugian dengan berinvestasi untuk membuka kesempatan berdirinya PLTSa yang masih kurang dalam segi ekonomi. Maka dalam hal ini pemerintah perlu menunjukkan keseriusannya dalam menangani sampah dengan memberi subsidi terhadap PLN terkait investasi kepada PLTSa. Sehingga kesempatan berdirinya PLTSa khususnya metode co-gasifikasi terbuka lebih luas dan hal tersebut tentu menjadi dapat menjadi salah satu solusi terbaik bagi permasalahan sampah yang terjadi.

3. Pengembangan dan riset terkait PLTSa

Upaya dalam meningkatkan efisiensi PLTSa sebagai jawaban permasalahan sampah harus terus dilakukan mengingat sampah yang tak akan mungkin habis selama kehidupan manusia terus berlangsung. Maka para akademisi dan praktisi dapat bekerja sama melakukan berbagai kajian, studi serta penelitian terkait metode yang harus diterapkan PLTSa sehingga lebih efisien. Tentunya dengan pesatnya pengembangan dan riset terkait PLTSa menandakan peningkatan kesadaran, pengetahuan serta kualitas SDM yang tersedia di Indonesia.

4. Edukasi publik terkait PLTSa

Pembangunan PLTSa tentu akan mendapat respon pro dan kontra di masyarakat. Maka edukasi publik terkait PLTSa perlu dilakukan sebagai upaya untuk mencerdaskan masyarakat, menumbuhkan kesadaran atas daruratnya masalah sampah dan tentu upaya untuk mendapat penerimaan masyarakat.

SIMPULAN

Berdasarkan data yang ada sampah di Indonesia menjadi salah satu masalah yang belum bisa ditangani secara maksimal. Waste to energy menjadi salah satu solusi atas permasalahan sampah yang ada, dengan menerapkan *Refuse Derived-Fuel* (RDF) dimana sampah yang digunakan merupakan sampah campuran (sampah khas perkotaan) melalui proses pre-treatment sampah perkotaan tersebut akan menjadi kering, mudah terbakar dan berukuran kecil (pelet) sehingga dapat digunakan sebagai bahan bakar untuk mengoperasikan pembangkit.

Selain *Refuse Derived Fuel* (RDF), co-gasifikasi dapat diterapkan dengan penambahan material jerami dan biochar, dimana dalam proses co-gasifikasi tersebut dapat meminimalisir pembentukan tar, meningkatkan efisiensi proses dan emisi yang dihasilkan lebih ramah lingkungan.

Dalam menangani masalah sampah diperlukan kerja sama antara pemerintah dan masyarakat sehingga terwujudnya wacana *Waste to Energy* yang kini ramai dibahas. Salah satu upayanya ialah dengan membangun PLTSa berbahan bakar gas hasil co-gasifikasi *Refuse-Derived Fuel* dan material alami mudah terbakar seperti jerami dan biochar. Penerapan co-gasifikasi pada *Refuse-Derived Fuel* yang dicampur dengan material alami tersebut layak diterapkan pada PLTSa karena proses pembangkitan listrik akan lebih efisien, ramah lingkungan dan tentu dapat menjadi solusi konkret permasalahan sampah di Indonesia.

Untuk merealisasikan ide tersebut perlu melalui beberapa tahap seperti studi potensi, perencanaan, perancangan, studi kelayakan, perizinan, birokrasi hingga sosialisasi kepada masyarakat terkait manfaat pembangunan PLTSa yang bukan hanya mengurangi sampah dalam jumlah besar tetapi

mengubahnya menjadi energi listrik yang bisa dimanfaatkan dalam kehidupan sehari-hari. Maka dengan pertimbangan tahap-tahap tersebut, diperlukan waktu sekurang-kurangnya 5 tahun untuk dapat merealisasikannya gagasan yang telah diajukan.

Melalui gagasan ini diharapkan pemerintah dan masyarakat lebih peduli terhadap masalah sampah di Indonesia. Keberhasilan gagasan ini diputuskan oleh peran pemerintah dalam mengolah sampah menjadi energi yang ramah lingkungan untuk mewujudkan target *renewable energy* sebesar 23% pada tahun 2025. Oleh karenanya PLTSa ini perlu dilakukan penelitian dan pengkajian secepatnya agar manfaat yang dihasilkan segera dirasakan oleh masyarakat.

DAFTAR PUSTAKA

- Achinas, S., & Kapetanios, E. (2013). Efficiency evaluation of RDF plasma gasification process. *Energy and Environment Research*, 3(1), 150–157. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.5539/eer.v3n1p150>.
- Burra, K. G., & Gupta, A. K. (2018). Synergistic effects in steam gasification of combined biomass and plastic waste mixtures. *Applied Energy*, 211, 230–236. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.10.130>.
- Conservancy, O. (2018). *Building a Clean Swell 2018 Report*. Oceanconservancy.Org.
- Corella, J., Toledo, J.-M., & Molina, G. (2008). Biomass gasification with pure steam in fluidised bed: 12 variables that affect the effectiveness of the biomass gasifier. *International Journal of Oil, Gas and Coal Technology*, 1(1–2), 194–207.
- Haydary, J. (2016). Gasification of Refuse-Derived Fuel (RDF). *Jurnal Institute of Chemical and Environmental Engineering I.XII* (1), 37-44. <http://dx.doi.org/10.1515/gse-2016-0007>.
- Imron, Ma. (2019). *Jawaban dari Masalah Sampah di Indonesia*. Zerowaste.Id.
- Morris, M., & Waldheim, L. (1998). Energy recovery from solid waste fuels using advanced gasification technology. *Waste Management*, 18(6–8), 557–564. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0956-053X\(98\)00146-9](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0956-053X(98)00146-9).
- Rania, M.R. Lemana, I.G.E.dan Maulana, E. (2019). Analisis Potensi Refuse Derived Fuel (RDF) dari Sampah pada Tempat Pembuangan Akhir (TPA) di Kabupaten Tegal sebagai Bahan Bakar Incinerator Pirolisis. *Teknik Mesin. (SINTEK Jurnal)* 13(1), 51-58. <https://doi.org/10.24853/sintek.13.1.51-59>.
- Safira, E. V. (2021). *Pemberdayaan masyarakat dalam menciptakan lingkungan yang bersih dan lestari melalui gerakan pengelolaan sampah di Dusun Tengger Desa Blongko Kecamatan Ngetos Kabupaten Nganjuk*. UIN Sunan Ampel Surabaya.
- Sitorus, R. (2019). *Pemerintah RI Perkiraan Sampah Laut 0,24-0,59 Juta Ton per Tahun*. Bisnis.Com.
- Yang, Y., Liew, R. K., Tamothran, A. M., Foong, S. Y., Yek, P. N. Y., Chia, P. W., Van Tran, T., Peng, W., & Lam, S. S. (2021). Gasification of refuse-derived fuel from municipal solid waste for energy production: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 19(3), 2127–2140.
-

Irna Nurfadhilah, Lia Marlina, Lisfi Lutfiah, Shella Fajri Zahra

Optimasi Pembangkit Listrik Tenaga Sampah Berbasis Teknologi Co-Gasifikasi Thermal dengan Refuse Derived-Fuel Sebagai Solusi Permasalahan Sampah dan Lingkungan

<https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10311-020-01177-5>.

Yusuf, F. (2021). *Membenahi Tata Kelola Sampah Nasional*. Indonesia.Go.Id.



© 2022 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY SA) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).