

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Pemrosesan Sampah menjadi Energi

Sistem energi dunia saat ini dihadapkan pada dua tantangan yakni kebutuhan terhadap lebih banyak energi dan jumlah emisi karbon yang lebih rendah. Kebutuhan energi meningkat seiring peningkatan kemakmuran di negara-negara berkembang. Sekitar dua pertiga dari populasi dunia pada tahun 2040 masih hidup di negara-negara di mana konsumsi energi rata-rata per kapita masih relatif rendah sehingga membutuhkan lebih banyak energi (Dudley, 2019). Kebutuhan energi tersebut harus dilakukan dengan menekan emisi gas rumah kaca. Kesepakatan Paris (COP21) telah berkomitmen menekan kenaikan suhu maksimal $1,5^{\circ}\text{C}$ sehingga emisi GRK 2000-2050 harus dibawah 1440 GtCO₂e (Society, 2017). Di lain pihak, ketersediaan energi tradisional utamanya energi fosil semakin terbatas.

Sementara itu, Indonesia merupakan negara dengan konsumsi energi terbesar di kawasan Asia Tenggara dan urutan kelima di Asia Pasifik dalam konsumsi energi primer, setelah negara China, India, Jepang, dan Korea Selatan. Dengan pertumbuhan PDB yang tinggi, rata-rata 6,04% per tahun selama periode 2017-2050, diperkirakan akan semakin mendorong peningkatan kebutuhan energi Indonesia di masa yang akan datang (BPPT, 2018). Pemerintah berkomitmen menurunkan emisi gas rumah kaca (GRK) sebesar 29% dari kondisi tanpa ada aksi (*business as usual*) pada tahun 2030 melalui *Nationally Determined Contribution* (NDC) (KLHK, 2018). Cadangan energi Indonesia, minyak bumi diperkirakan akan habis dalam kurun 9 tahun, gas bumi habis dalam 42 tahun dan batubara habis dalam 68 tahun dari tahun 2018 (DEN, 2019).

Menghadapi tantangan kebutuhan energi di masa yang akan datang, peran energi baru terbarukan menjadi semakin penting. Permintaan global terhadap energi terbarukan diperkirakan meningkat antara enam sampai dengan tujuh kali lipat pada satu decade ke depan. EBT merupakan sumber energi dengan pertumbuhan tercepat, terhitung sekitar setengah dari peningkatan energi dunia dikontribusikan oleh pertumbuhan EBT (Dudley, 2019). Kesadaran terhadap peran EBT meneguhkan pemerintah Indonesia untuk meningkatkan pemanfaatannya. Melalui Rencana Umum Energi Nasional (2018) bauran EBT ditargetkan meningkat menjadi 23% sampai dengan 2025 (RUEN, 2018). Target ini masih jauh dari kenyataan sementara pencapaian saat ini masih sangat rendah.

Pemrosesan sampah melalui WtE dapat menjadi alternatif pemulihan energi dari sampah perkotaan. Banyak penelitian yang telah menunjukkan bahwa WtE dapat menjadi pilihan pemrosesan sampah yang berkelanjutan sekaligus meningkatkan produksi energi, menurunkan emisi GRK (Bahareh Reza et. Al., 2013; Dianda, P., Mahidin dan Munawar, 2017; Malinauskaite et al., 2017; Bras et al., 2017; Srisaeng, N., Tippayawong, N., dan Tippayawong, KY., 2017; Lokahita, Samudro, dan Baskoro, 2018; Dastjerdi, 2019). Aplikasi WtE di NSW Australia dapat menghasilkan energi 4.165 GWh/tahun atau 5,9% dari kapasitas pembangkit terpasang (Dastjerdi, 2019). Pemanfaatan sampah lama di TPA Semarang diperkirakan dapat menghasilkan 4,04 GWh/tahun (Lokahita, Samudro, dan Baskoro, 2018). Pemanfaatan sampah dengan kandungan organik dan kelembaban tinggi untuk RDF masih memungkinkan seperti di Banda Aceh (Dianda, P., Mahidin dan Munawar, 2017), secara ekonomi juga masih layak seperti ditunjukkan di Lampang Thailand (Srisaeng, N., Tippayawong, N., dan Tippayawong, KY., 2017). Bahkan pemanfaatan RDF untuk substitusi batubara dapat memberi keuntungan dari sisi lingkungan, penghematan ekonomi dan penurunan emisi GRK seperti aplikasi di Turkey (Kara, 2012), Vancouver (Bahadeh, 2013), dan Portugal (Malinauskaite et al., 2017).

II.2 Pemrosesan Sampah menjadi Refuse-Derived Fuel

Produksi Refuse-Derived-Fuels (RDF) dalam teknologi Waste-to-Energy yang mensyaratkan kandungan kalori tertentu dapat berasal dari sumber sampah yang beragam. Di Austria, definisi RDF diatur dalam “Waste Incineration Directive (WID)” yakni sampah yang digunakan seluruhnya atau sampai taraf tertentu untuk tujuan timbulan energi yang memenuhi kriteria kualitas menurut peraturan ini. Peraturan tersebut mengukur kualitas berdasarkan nilai kalor, ukuran, dan kandungan logam berat sehingga membutuhkan beberapa pengolahan dan pemilahan (Sarc dan Lorber, 2017).

Mengacu pada WID maka kriteria kualitas mencakup kandungan logam berat sebagaimana ditunjukkan pada Table 2 berikut:

Tabel 1 Standar Kualitas RDF di Uni Eropa

Limited parameter	Cement kiln		Powerstation				Other plants	
	Median	80th Percentile	Median ≤10%	80th Percentile ≤15%	Median	80th Percentile	Median	80th Percentile
	(mg/MJ _{DM})		(mg/MJ _{DM})				(mg/MJ _{DM})	
<i>Co-incineration sector</i>								
As	2	3	2	3	2	3	1	1.5
Pb	20	36	23	41	15	27	15	27
Cd	0.23	0.46	0.27	0.54	0.17	0.34	0.17	0.34
Cr	25	37	31	46	19	28	19	28
Co	1.5	2.7	1.4	2.5	0.9	1.6	0.9	1.6
Ni	10	18	11	19	7	12	7	12
Hg	0.075	0.15	0.075	0.15	0.075	0.15	0.075	0.15
Sb	7	10	7	10	7	10	7	10

Sebagai bahan bakar, RDF memiliki kriteria mengenai kandungan kalori, kandungan klorine yang rendah, komposisi yang terkontrol, ukuran, densitas, dan ketersediaan kuantitas tertentu. Spesifikasi kriteria tersebut mempengaruhi penggunaannya (Sarc dan Lorber, 2017; Bras et al., 2017).

Kualitas RDF di Indonesia telah dipersyaratkan di Pedoman Umum Pemanfaatan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga Sebagai Bahan Bakar Alternatif Refuse Derived Fuel (RDF) yang diterbitkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (2015). Pedoman ini mengatur tujuh parameter yang dipersyaratkan untuk produksi RDF meliputi nilai kalor, kelembaban, kandungan Klorin, ukuran, kandungan Sulfur, bentuk produk, dan kriteria lainnya. Nilai masing-masing parameter disajikan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 2 Parameter Bahan Bakar Jemputan Padat di Indonesia

PARAMETER	SATUAN	STANDAR		
		KLHK	SNI*	PLN
Material Organik	%, min.		≥95%	≥95%
Nilai Kalor	Kkal/kg	≥ 3.500	≥ 4.777	≥ 3.400
Ukuran	mm	≤ 50	Fluff 0,297 ≤F≤2,38 Pellet 3,15 ≤F≤40 Bricket 20 ≤B≤70	
Densitas	g/cm ³		Fluff 0,4 Pellet 0,8 Bricket 0,9	
Kadar Air	%	< 10	< 15	< 20

Kadar Sulfur	%	< 0,6	≤ 1,5	
Kadar Klorin	%	< 2	≤ 0,2	0
Kadar Merkuri		< 1,2 % berat	Median ≤ 0,02 mg/MJ 80 Percentile ≤ 0,04	
Kadar Kalium (dalam K ₂ O)	%		≤ 5	
Kadar Natrium (dalam Na ₂ O)	%		≤ 2,5	
Kadar Kadmium	mg/kg	< 9		
Kadar Timbal	mg/kg	< 200		
Kadar Arsen	mg/kg	< 13		
Lainnya		Bukan limbah B3		Bukan limbah B3

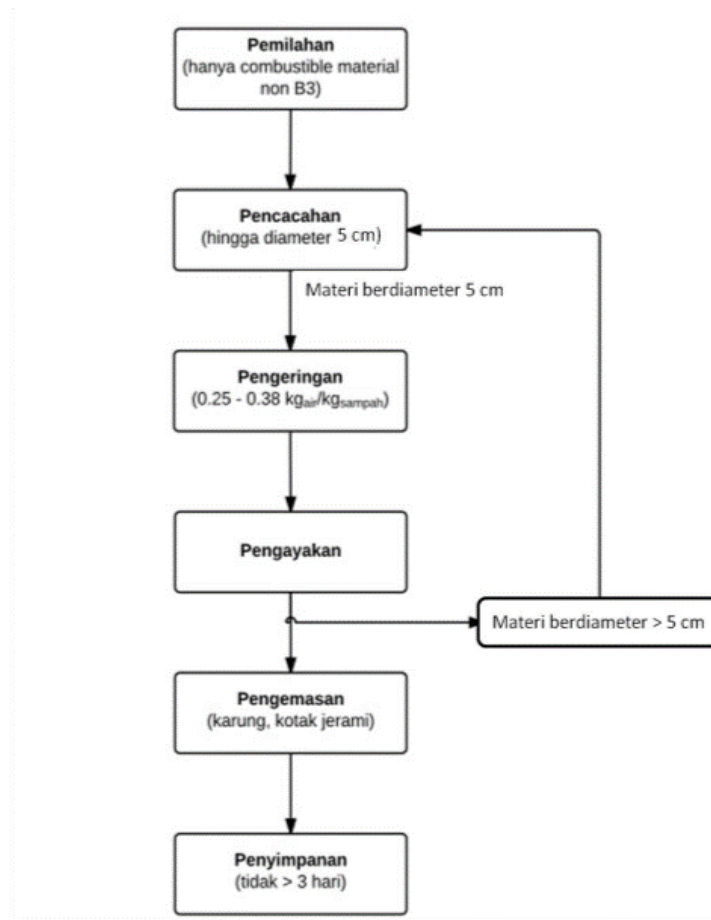
Keterangan:

* menggunakan RDF kelas 1

Sumber: KLHK, 2015; SNI 8966:2021; dan Perdir PLN, 2020

Untuk memenuhi kriteria tersebut dibutuhkan proses pemilahan multi tahap untuk mengurangi sampah yang tidak terbakar seperti logam, batu keramik dan kaca. Demikian pula untuk memenuhi kriteria yang lain. Namun kriteria tidak kalah penting adalah ketersediaan kuantitas. Dua hal ini dapat menjadi kontraproduktif dimana semakin ketat kualitas maka ketersediaan jumlah akan semakin kecil, demikian pula sebaliknya (Sarc dan Lorber, 2017). Untuk menjamin kualitas RDF yang baik, berikut ini tahapan proses pengolahan sampah yang harus dijalani:

Gambar 1 Diagram Alir Pengolahan Sampah menjadi RDF



Sumber: KLHK, 2015

1) Pemilahan

Tujuan dari pemilahan ini untuk mencegah material sampah yang tidak diinginkan masuk ke dalam alur proses pengolahan, seperti sampah B3 maupun logam atau kaca karena jika masuk ke dalam alur proses pengolahan dapat merusak, menghambat, ataupun mengganggu peralatan saat beroperasi serta menyebabkan kerusakan sebagian bahkan keseluruhan fasilitas. Pemilahan dapat dilakukan secara manual terhadap sampah pada ban berjalan (*conveyor belt*).

2) Pencacahan

Pencacahan dimaksudkan untuk mengeluarkan sampah yang masih terbungkus dalam kantong dan berukuran besar agar mempermudah dan mempercepat proses pengeringan. Pencacahan sampah ini juga untuk menurunkan ukuran sampah agar lebih kecil dan homogen sesuai kebutuhan

pengguna. Pencacahan dilakukan menggunakan mesin pencacah (*shredder*) sebagaimana ditunjukkan gambar.

Gambar 2 Mesin Pencacah Sampah pada Fasilitas RDF



Sumber: Dokumentasi Peneliti, 2019

3) Pengeringan

Pengeringan sampah dilakukan dengan tujuan untuk menghilangkan kadar air yang terkandung dalam sampah. Adapun kadar air yang harus dihilangkan untuk kondisi rata-rata sampah di Indonesia yakni sebesar 30% - 40%. Hal tersebut dilakukan untuk menaikkan nilai kalor RDF agar berkualitas tinggi. Proses pengeringan dapat dilakukan dengan berbagai cara seperti pemanasan dengan sinar matahari maupun dengan metode biodrying. Metode biodrying memanfaatkan panas dari proses dekomposisi sampah oleh bakteri. Prosedur pengeringan dengan biodrying dilakukan dengan menutup sampah dengan membran. Untuk menjamin proses aerob, fasilitas menginjeksikan udara udara dari lantai secara terus menerus. Proses ini memakan waktu 21 hari dengan proses pembalikan setiap tujuh hari sekali. Setelah melalui proses pengeringan, kandungan air akan menyusut dan RDF sebenarnya sudah dapat digunakan namun masih bercampur dengan bahan-bahan lain yang tidak mudah terbakar. Berikut ini gambar fasilitas biodrying.

Gambar 3 Bagian Biodrying pada Fasilitas RDF



Sumber: Dokumentasi Peneliti, 2019

4) Pengayakan

Bertujuan untuk memisahkan materi berukuran lebih besar dari 5 cm, dimana materi tersebut akan kembali ke tahap pencacahan. Material yang dipisahkan juga kategori logam, batu, kaca, kerikil dan inert lainnya. Pengayakan mengklasifikasikan hasil menjadi tiga kategori yakni RDF yang diinginkan, material yang ukurannya terlalu besar serta materi yang tidak mudah terbakar. Materi yang diinginkan dapat dikemas dan disimpan sedangkan materi yang memiliki ukuran besar dapat dikembalikan ke tahap pencacahan sedang kategori materi yang tidak mudah terbakar dapat diproses ke TPA. Pemisahan materi ini dilakukan dengan pengayakan dan pemisahan magnetik (magnetic separator) sehingga logam, batu, pasir dan tanah dapat terpisah sesuai kategori diatas.

5) Pengemasan

Material akhir hasil pengayakan berupa serat halus (fluff) dikemas tanpa atau dengan pemeletan sesuai dengan kebutuhan pengguna. RDF tanpa pemeletan memiliki keunggulan berupa mudah terbakar dengan sempurna namun memiliki volume yang besar sehingga membutuhkan ruang penyimpanan yang luas. Untuk itu, hasil RDF dapat dikemas agar penyimpanan dapat lebih efektif.

Gambar 4 Mesin Pengayakan pada Fasilitas RDF



Sumber: Dokumentasi Peneliti, 2019

6) Penyimpanan

Penyimpanan dilakukan agar produk RDF tetap berkualitas baik saat digunakan. Penyimpanan RDF dilakukan dengan mengutamakan perlindungan terhadap kemungkinan hazard, perlindungan terhadap aspek lingkungan, serta mempertahankan kualitas RDF. Syarat penting penyimpanan adalah terlindung dari hujan maupun kontaminasi cairan lainnya yang dapat menurunkan kandungan kalor RDF.

II.3 Ekonomi Sirkuler dalam Pengelolaan Sampah

II.3.1. Definisi Ekonomi Sirkuler

Ekonomi Sirkuler (*Circular economy*) dapat didefinisikan sebagai model ekonomi yang ditujukan untuk efisiensi penggunaan sumber daya melalui minimalisasi limbah, retensi nilai jangka panjang, pengurangan sumber daya primer, dan loop tertutup produk, bagian produk, dan bahan dalam batas-batas perlindungan lingkungan dan manfaat sosial ekonomi. Sebuah ekonomi

sirkuler memiliki potensi untuk mengarah pada pembangunan berkelanjutan, sementara memisahkan pertumbuhan ekonomi dari konsekuensi negatif dari penipisan sumber daya dan degradasi lingkungan (Babbitt et al., 2018). Konsep ekonomi sirkular (CE) saat ini dipromosikan di tingkat kebijakan internasional dan nasional (Komisi Eropa [EC], 2015; Sitra, 2019) dan semakin dibahas di antara para peneliti (misalnya, Blomsma dan Brennan, 2017; Kirchherr et al., 2017; Korhonen et al., 2018).

Transisi menuju ekonomi sirkuler membutuhkan perubahan sistemik dengan melibatkan industri dimana input dan limbah, serta segala kebocoran diminimalkan dengan memperlambat dan menutup putaran material dan energi. Transisi ini mempromosikan pengurangan, penggunaan kembali, daur ulang dan pemulihan bahan pada tingkat yang berbeda, dengan tujuan mencapai pembangunan berkelanjutan (Kirchherr et al., 2017). Hal ini membutuhkan kerja sama yang luas di antara para pemangku kepentingan, seperti pihak berwenang, perusahaan, akademisi dan konsumen. Selain itu, untuk mencapai CE, penting bagi otoritas dan pemerintah nasional, regional dan lokal untuk memungkinkan transisi tersebut (Geissdoerfer et al., 2017). Ini berarti bahwa CE membutuhkan upaya di tingkat makro, meso dan mikro untuk mempromosikan perubahan (Ghisellini et al., 2016).

Pada tingkat makro, pendekatan ini terdiri dari perubahan kebijakan di tingkat nasional, regional dan kota. Simbiosis industri (model dimana kelebihan energi atau residu sumber daya dari satu perusahaan digunakan oleh perusahaan lain), ekosistem dan jaringan di antara perusahaan merupakan tingkat meso, sedangkan tingkat mikro berfokus pada perusahaan dan konsumen tunggal (Kirchherr et al., 2017). Korhonen et al. (2018) mengidentifikasi latar belakang yang paling berpengaruh dari ekonomi sirkuler adalah gagasan praktis tentang 'eko-efektivitas' dan industri ekologis, keduanya terkait dengan ketergantungan 100% pada energi terbarukan dan daur ulang semua bahan.

II.3.2. Ekonomi Sirkuler dalam Pengolahan Sampah di Negara Berkembang

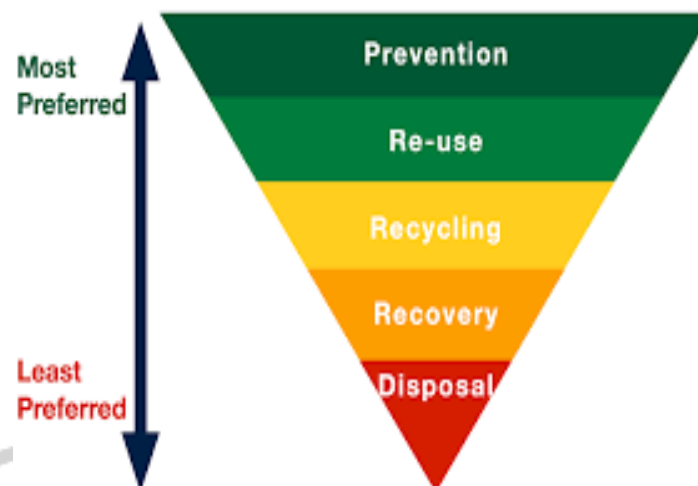
Di negara-negara berkembang dimana sumberdaya dan infrastruktur pengumpulan, pengangkutan dan pembuangan sampah sangat terbatas, banyak sampah menjadi tidak tertangani dengan baik (Fiksel dan Rattan Lal, 2018). Akibat kemiskinan dan kelangkaan pekerjaan formal, sampah yang belum tertangani menjadi barang publik yang menjadi sumber penghidupan dan pendapatan kaum miskin. Jutaan orang di banyak negara seperti India, Kongo, Kamerun, dan

Nicaragua, dan Meksiko memperoleh pendapatan dan penghidupan dari mengambil sampah yang bernilai (Simatele dan Etambakonga, 2015; Joseph Fiksel dan Rattan Lal, 2018; Hartmann, 2018; Parrot, Sotamenou, dan Dia, 2008).

Dari perspektif kewirausahaan, pemulungan sampah menyediakan peluang bagi individu dan rumah tangga berpartisipasi pada ekonomi formal. Dengan mengumpulkan sampah-sampah yang bernilai dan menjualnya ke pemasok atau industri daur ulang, pemulung masuk dan menjadi bagian dari sector formal pengelolaan sampah. Meskipun tidak diakomodasi dalam kebijakan kota, pemulung memainkan peran penting tidak hanya untuk memenuhi ekonomi namun juga menciptakan lapangan kerja dan membantu keberlanjutan lingkungan (Simatele dan Etambakonga, 2015). Usaha memulung sampah dan menjual kepada industri daur ulang ini merupakan bentuk nyata ekonomi sirkuler pada pengelolaan sampah.

Oleh karena itu, hierarki pengelolaan sampah memprioritaskan daur ulang sebelum sampah dipulihkan energinya. Hierarki ini juga menempatkan pembuangan sebagai metode paling akhir sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5. Hierarki sampah menunjukkan sistem peringkat sederhana untuk memilih pengelolaan sampah yang tepat dan terbaik untuk menjaga keberlanjutan lingkungan. Pencegahan merupakan Tindakan paling disukai, kemudian penggunaan Kembali, daur ulang, pemulihan energi, dan pembuangan ke TPA.

Gambar 5 Hierarki Pengelolaan Sampah



Sumber: Hansen et al., 2002

Usaha pemilahan dan pengumpulan materi daur ulang dalam sampah dapat mengurangi sampah secara signifikan. Di India, kegiatan pemulung dapat mengurangi 70% sampah plastik dan mengubah menjadi sumberdaya baru (Fiksel dan Lal, 2018). Sampah perkotaan masih memiliki nilai ekonomi. Studi M. Asim et al (2012) di Pakistan menunjukkan bahwa plastik, kertas, kaca, botol PET, dan logam bahkan alas sepatu dapat dijual sebagai bahan baku daur ulang. Masing-masing jenis sampah memiliki harga yang menjadi pendapatan bagi pemulung. Di Indonesia, terdapat 10 kategori sampah yang dapat dijual diantaranya plastik campur, HDPE, PET, logam, kaca, karpet, dan ban. Potensi sampah yang memiliki nilai ekonomi daur ulang mencapai 26,02% sementara komposisi sampah anorganik adalah 40% (Mahyudin, Hadi dan Purwanto, 2015). Pemilahan dan pengumpulan materi daur ulang melalui bank sampah di Semarang dapat mengurangi volume plastik 17%, kertas 35%, kaca 20% dan logam 66% (BINTARI, 2020). Karena peran tersebut, beberapa negara berupaya mengintegrasikan kegiatan pemulungan sampah menjadi bagian ekonomi formal, termasuk Indonesia (Gunsilius, Bharati, dan Scheinberg, 2011).

Signifikansi peran pemulungan sampah dapat berubah dengan perubahan sistem pengelolaan sampah yang lebih modern. Pengolahan *landfill* ke teknologi modern terutama WtE membutuhkan sampah-sampah dengan nilai kalor tinggi seperti plastik, kertas kayu dan bahan organik lainnya (Dastjerdi, 2019) sementara itu plastik dan kertas merupakan sampah-sampah bernilai tinggi yang dikumpulkan pemulung (Joseph Fiksel dan Rattan Lal, 2018; Bintari, 2018). Konflik kepentingan ini menghilangkan kontrol pemulung terhadap sampah bernilai sehingga berpotensi menghilangkan penghidupan pemulung (Hartmann, 2018). Proses ini dapat terjadi dalam operasi pabrik RDF dimana sampah-sampah bernilai kalor tinggi menjadi material yang diperebutkan.