

Potensi Reduksi Emisi GRK dan Kelayakan Finansial dari Teknologi Hidrotermal untuk Pengolahan Sampah di Kabupaten Tangerang

Rania Salsabila Ayuvitari dan Pini Wijayanti*

Departemen Ekonomi Sumberdaya dan Lingkungan, Fakultas Ekonomi dan Manajemen, Institut Pertanian Bogor

ABSTRAK

Peningkatan konsentrasi gas rumah kaca (GRK) di atmosfer telah menimbulkan efek pemanasan global. Salah satu kontributor emisi GRK adalah penumpukan sampah di TPA tanpa pengolahan lebih lanjut. TPA Jatiwaringin di Kabupaten Tangerang diprediksi akan mengalami *overcapacity*, sehingga diperlukan mitigasi untuk mengurangi sampah di TPA, salah satunya dengan teknologi hidrotermal. Namun dalam penerapan teknologi hidrotermal membutuhkan biaya yang tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi potensi emisi GRK sebelum adanya proyek hidrotermal, mengestimasi potensi reduksi emisi GRK setelah adanya proyek hidrotermal, menganalisis kelayakan finansial dari proyek hidrotermal. Penelitian ini menggunakan metode *Clean Development Mechanism* (CDM) AMS-III.E untuk mengestimasi potensi reduksi emisi GRK proyek hidrotermal dan analisis *cashflow* untuk mengevaluasi kelayakan finansialnya. Hasil penelitian ini menunjukkan emisi *baseline* pada tahun 2021 diestimasi sebesar 18.766 t CO₂ e dan akan meningkat menjadi 21.865 t CO₂ e (16,5%) pada tahun 2030. Emisi proyek diestimasi sebesar 5883 t CO₂ e per tahun. Rata-rata persentase potensi reduksi emisi GRK dari proyek hidrotermal tahun 2021-2030 sebesar 70,94% (Skenario 2 putaran per hari) dan 68,26% (Skenario 3 putaran per hari). Proyek hidrotermal juga layak secara finansial, dengan syarat produk hidrotermal yaitu *Refused Derived Fuel* (RDF) dapat terjual setidaknya 72% dan jumlah iuran masyarakat yang terkumpul minimal 50% dari target penerimaan iuran.

Kata kunci: CDM, GRK, sampah kota, sektor pengelolaan limbah, teknologi hidrotermal

ABSTRACT

An increase in the atmospheric concentrations of greenhouse gases (GHGs) produces global warming effect. One of GHGs emissions contributors is waste accumulation of in the landfill. Jatiwaringin landfill in Tangerang Regency is predicted to reach *overcapacity*. Therefore, mitigation measures are required to reduce such waste. One of potential measures is hydrothermal treatment technology for urban scale, but its implementation is costly. This study aims to: estimate the potential GHGs emissions prior the hydrothermal project, estimate the potential GHGs emission reduction after the project, and analyze the financial feasibility of the project. This study employs *Clean Development Mechanism* (CDM) method i.e., AMS-III.E to estimate the GHGs emissions reduction potential of hydrothermal projects and *cashflow* analysis to evaluate the project financial feasibility. The results show that the baseline emissions in 2021 are estimated at 18,766 t CO₂ e and would increase to 21,865 t CO₂ e (16.5%) in 2030. The potential project emissions are estimated at 5883 t CO₂ e per year. The GHGs emission reductions could reach 70.94% (2 batches per day) and 68.26% (3 batches per day) within 2021-2030. Furthermore, the hydrothermal project would be financially feasible, if the hydrothermal product i.e., *Refused Derived Fuel* (RDF) are sold at least 72% and the cumulative households-contribution is at least 50% of the target.

Keywords: CDM, GHGs, hydrothermal technology, urban waste, waste sector

Citation: Ayuvitari, R. S. dan Wijayanti, P., (2022). Potensi reduksi emisi GRK dan Kelayakan Finansial dari Teknologi Hidrotermal untuk Pengolahan Sampah di Kabupaten Tangerang. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 20(1), 1-12, doi:10.14710/jil.20.1.1-12

1. Pendahuluan

Pemanasan global merupakan isu lingkungan yang salah satunya disebabkan oleh perubahan iklim. Pertumbuhan ekonomi mendorong aktivitas manusia di berbagai sektor yang dapat menghasilkan emisi GRK, salah satunya sektor pengelolaan limbah. Hal tersebut memicu peningkatan suhu bumi yang menyebabkan terjadinya perubahan iklim (LAN 2018).

Guna mengatasi peningkatan suhu bumi, Protokol Kyoto mencantumkan tiga mekanisme sebagai upaya penurunan emisi GRK. Mekanisme tersebut di antaranya *Emissions Trading* (ET), *Joint*

Implementation (JI), dan *Clean Development Mechanism* (CDM) (UNFCCC 2008). CDM merupakan mekanisme yang bertujuan untuk membantu negara industri dalam memenuhi komitmennya mengurangi emisi GRK dan membantu negara berkembang dalam mencapai pembangunan berkelanjutan (KLH 2006).

Sebagai upaya dalam penurunan emisi GRK, Indonesia berkomitmen melalui dokumen *Nationally Determined Contribution* (NDC) yang menetapkan target pengurangan emisi sebesar 29% di tahun 2030 dengan usaha sendiri dan 41% dengan bantuan internasional. Komitmen target pengurangan emisi tersebut diatur dalam Peraturan Presiden Nomor 61

* Penulis korespondensi: pini_wijayanti@apps.ipb.ac.id

Tahun 2011 tentang Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca (RAN-GRK).

Potensi emisi GRK pada sektor pengelolaan limbah sebagian besar terjadi pada pengelolaan sampah di perkotaan. Sekitar 90% emisi GRK sektor sampah perkotaan dihasilkan dari tumpukan sampah di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) karena kurang memadainya pengelolaan sampah perkotaan (BAPPENAS 2014).

Kondisi permasalahan sampah perkotaan tersebut, teknologi pengolahan sampah saat ini dituntut untuk mampu mengurangi jumlah sampah di TPA dengan memenuhi tiga kondisi, yaitu teknologi tersebut ramah lingkungan atau rendah emisi, ekonomis, dan memiliki kapasitas pemrosesan yang tinggi (Triyono *et al.* 2016). Permasalahan lainnya dari sampah perkotaan adalah tidak dilakukannya pemilahan sampah dari sumbernya sehingga kondisi sampah tercampur antara organik dan non organik. Hal ini menyebabkan kesulitan dalam melakukan tindakan-tindakan yang tepat dalam mengelola sampah. Salah satu solusinya adalah diperlukannya teknologi yang dapat mengolah dan memanfaatkan sampah kota dengan karakteristik sampah tercampur menjadi produk yang bernilai.

Penerapan pengolahan sampah dengan teknologi hidrotermal dapat dilakukan sebagai upaya mengatasi permasalahan sampah. Teknologi tersebut dapat mengkonversi sampah padat menjadi bahan bakar alternatif dengan nilai kalor setara dengan batu bara dan secara tidak langsung mampu mengurangi emisi GRK (Yoshikawa 2009).

Pembakaran bahan bakar alternatif yang berasal dari pengolahan sampah hidrotermal, tetap menghasilkan emisi berupa gas karbon dioksida. Bahan bakar alternatif tersebut digunakan kembali sebagai bahan bakar pada mesin hidrotermal, sehingga jika dilakukan pembakaran akan berpotensi menghasilkan emisi gas karbon dioksida.

Estimasi emisi GRK yang dihasilkan pada proses pengolahan sampah dengan hidrotermal diperlukan untuk mengetahui potensi reduksi emisi GRK dengan teknologi hidrotermal tersebut. Pengolahan sampah dengan teknologi hidrotermal telah diterapkan di berbagai wilayah perkotaan di Indonesia, seperti di Bandung tahun 2018 dan Cilacap tahun 2020. Terdapat beberapa wilayah perkotaan lainnya yang tertarik untuk menerapkan teknologi hidrotermal sebagai solusi dalam mengatasi permasalahan sampah di perkotaan.

Beberapa kota atau kabupaten lainnya berencana ingin menerapkan teknologi hidrotermal dalam pengolahan sampah sebagai upaya dalam mengatasi permasalahan sampah di wilayahnya, seperti Kabupaten Tangerang dan Kabupaten Sukoharjo. Khususnya, pada Kabupaten Tangerang memiliki jumlah timbulan sampah rumah tangga sebesar 657.000 ton/tahun dengan pertumbuhan populasi sebesar 3%/tahun (BPS Kabupaten Tangerang 2019), sementara TPA Jatiwaringin hanya memiliki luas

lahan ± 14 Ha. Seiring berjalannya waktu, tinggi timbunan di TPA Jatiwaringin mengalami peningkatan sebab jumlah timbulan sampah yang dibuang ke TPA Jatiwaringin juga meningkat. Kondisi tersebut menunjukkan potensi terjadinya *overcapacity*, oleh karena itu diperlukan solusi untuk mengatasi permasalahan sampah dengan luas lahan yang terbatas, agar dapat mengurangi jumlah tumpukan sampah yang dibuang ke TPA.

Sejak 2016, teknologi hidrotermal telah diterapkan di wilayah perkotaan mandiri Summarecon Serpong. Proyek tersebut dikelola oleh perusahaan swasta Kerja Sama Operasional (KSO) Pengolahan Biomassa Summarecon Serpong. Meskipun proyek hidrotermal telah diterapkan di Summarecon Serpong yang merupakan bagian dari wilayah Kabupaten Tangerang, sampah yang diproses hanya mencakup sampah rumah tangga di wilayah Summarecon Serpong. Sementara pertumbuhan penduduk akan terus terjadi dan mendorong peningkatan aktivitas ekonomi, oleh karena itu penerapan proyek hidrotermal oleh pemerintah Kabupaten Tangerang diperlukan agar pengurangan jumlah sampah yang dibuang ke TPA Jatiwaringin dapat dilakukan secara optimal.

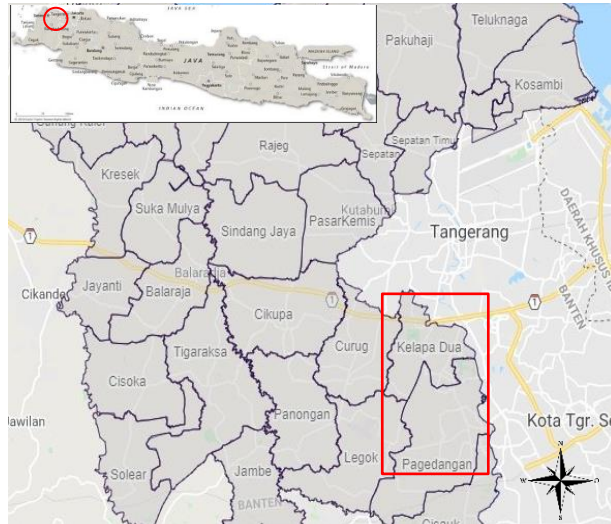
Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui manfaat dari proyek hidrotermal dan pendanaan melalui analisis kelayakan finansial, agar dapat menjadi informasi bagi kota atau kabupaten lain yang akan menerapkan teknologi tersebut seperti Kabupaten Tangerang. Total pendanaan yang dibutuhkan dalam penerapan teknologi tersebut cukup tinggi, namun dengan diterapkannya teknologi tersebut diharapkan mampu mengurangi jumlah sampah yang dibuang ke TPA sekaligus dapat mengurangi produksi emisi GRK yang dihasilkan dari tumpukan sampah pada TPA sehingga aspek finansial dan estimasi manfaat yang diberikan oleh proyek tersebut dapat dijadikan pertimbangan untuk menerapkan proyek hidrotermal.

Tujuan umum dari penelitian ini adalah mengestimasi pengurangan emisi GRK dari proyek hidrotermal skala perkotaan. Tujuan umum tersebut dapat dicapai dengan menjawab tiga tujuan khusus yaitu, 1) mengestimasi potensi emisi GRK sebelum diterapkannya teknologi hidrotermal dalam pengolahan sampah perkotaan, 2) mengestimasi potensi reduksi emisi GRK dari penerapan teknologi hidrotermal dalam pengolahan sampah perkotaan, dan 3) menganalisis kelayakan finansial dari teknologi hidrotermal untuk pengolahan sampah perkotaan.

2. Metode

2.1. Lokasi penelitian

Lokasi penelitian dilakukan di kawasan kota mandiri Summarecon Serpong, Kabupaten Tangerang. Penelitian ini dimulai dari bulan Juli 2020 hingga April 2021.



Sumber: <https://infotangerang.net>
 Keterangan: batas wilayah Summarecon Serpong ditandai dengan garis merah
Gambar 1 Lokasi Proyek Hidrotermal

2.2. Metode Pengolahan dan Analisis Data

Metode analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah CDM dari UNFCCC untuk proyek berskala kecil (UNFCCC 2014), untuk sektor penanganan dan pembuangan limbah. Metode CDM yang digunakan adalah Metode AMS-III.E *Avoidance of methane production from decay of biomass through controlled combustion, gasification or mechanical/thermal treatment* (menghindari peluruhan produksi metana biomassa melalui pembakaran terkontrol, gasifikasi atau perlakuan mekanis/termal) versi 17.0 (UNFCCC 2014). Metode analisis kelayakan finansial digunakan juga untuk menganalisis kelayakan finansial dari proyek hidrotermal.

Metode AMS.III.E dapat digunakan untuk mengestimasi potensi reduksi emisi GRK pada proyek hidrotermal. Potensi reduksi emisi GRK pada proyek hidrotermal adalah selisih antara potensi emisi GRK pada kondisi *baseline* di TPA Jatiwaringin dan potensi emisi GRK pada proyek hidrotermal. Penelitian ini mengestimasi reduksi emisi GRK pada dua skenario operasionalisasi hidrotermal, yaitu Skenario 1 (dua putaran per hari) dan Skenario 2 (dua putaran per hari), untuk membandingkan potensi reduksi emisi GRK pada kondisi berbeda. Berikut ini rumus umum untuk mengestimasi reduksi emisi GRK.

$$RE_y = BE_y - PE_y \quad (1)$$

dimana:

- RE_y : reduksi emisi GRK di tahun y (t CO₂e),
- BE_y : emisi GRK *baseline* di tahun y (t CO₂e),
- PE_y : emisi GRK proyek di tahun y (t CO₂e).

Batasan proyek atau *project boundary* diperlukan dalam mengestimasi reduksi emisi GRK. *Project boundary* merupakan batasan cakupan dari kegiatan pada suatu proyek. Batasan proyek dari proyek

hidrotermal pada penelitian ini adalah kapasitas reaktor teknologi hidrotermal sebesar 10 m³ dan jumlah sampah yang dapat diolah yaitu sebesar 5840 ton/tahun dengan tujuh hari kerja dan mesin bekerja selama 3 jam per harinya.

2.3. Emisi baseline (kondisi awal)

Emisi *baseline* merupakan emisi sebelum diterapkannya proyek. Sumber emisi *baseline* dalam penelitian ini adalah emisi metana yang dihasilkan dari jumlah sampah yang dibuang ke TPA Jatiwaringin pada kondisi sebelum adanya proyek dan emisi dihasilkan pada kegiatan pengangkutan sampah ke TPA yang dipengaruhi oleh jarak (Chaerul *et al.* 2020). Estimasi emisi *baseline* diformulasikan sebagai berikut:

$$BE_y = BE_{CH_4,SWDS,y} + BE_{TR,y} \quad (2)$$

dimana:

- BE_y : emisi GRK *baseline* di tahun y (t CO₂e),
- $BE_{CH_4,SWDS,y}$: emisi metana *baseline* yang terjadi pada tahun y yang dihasilkan dari pembuangan limbah di TPA Jatiwaringin selama periode waktu yang berakhir pada tahun y (t CO₂e),
- $BE_{TR,y}$: emisi *baseline* dari transportasi sampah pada tahun pemantauan y (t CO₂e).

Emisi *baseline* yang dihasilkan dari pembusukan sampah yang dibuang ke TPA diestimasi dengan *Tool 04 "tool emissions from solid waste disposal sites* (Metode 04 Emisi dari lokasi pembuangan limbah

padat)" versi 08.0. $BE_{CH_4,SWDS,y}$ diformulasikan sebagai berikut:

$$BE_{CH_4,SWDS,y} = \varphi_y \times (1 - f_y) \times GWP_{CH_4} \times \sum_{y=1}^y Default_y \times W_x \quad (3)$$

dimana:

- $BE_{CH_4,SWDS}$: emisi metana *baseline* yang terjadi pada tahun y yang dihasilkan dari pembuangan limbah di TPA Jatiwaringin selama periode waktu yang berakhir pada tahun y (t CO₂ e),
- φ_y : faktor koreksi model untuk memperhitungkan ketidakpastian model untuk tahun y ,
- f_y : sebagian gas metana yang ditangkap di TPA Jatiwaringin dan dibakar, atau digunakan dengan cara lain yang mencegah emisi metana ke atmosfer pada tahun y ,
- GWP_{CH_4} : potensi pemanasan global dari metana (t CO₂ e),
- $Default_y$: nilai standar di tahun y tergantung pada properti sampah dan zona iklim,
- W_y : jumlah sampah padat yang dibuang di TPA Jatiwaringin pada tahun y (t).

Emisi *baseline* yang dihasilkan dari jarak pengangkutan sampah oleh kendaraan dari titik angkut ke TPA, dapat diestimasi menggunakan *Tool 12 "tool Project and Leakage Emissions from Transportation of Freight* (Metode 12 Emisi proyek dan kebocoran dari transportasi pengangkutan)" versi 01.1.0. $BE_{TR,y}$ diformulasikan sebagai berikut:

$$BE_{TR,y} = \sum_{f=1}^F D_{f,y} \times FR_{f,y} \times EF_{CO_2,f} \times 10^{-6} \quad (4)$$

dimana:

- $BE_{TR,y}$: emisi *baseline* dari transportasi sampah pada tahun pemantauan y (t CO₂ e),
- $D_{f,y}$: jarak perjalanan pulang-pergi antara asal dan tujuan pengangkutan, kegiatan transportasi f dalam periode pemantauan y (km),
- $FR_{f,y}$: jumlah massa barang yang diangkut dalam kegiatan angkutan barang f dalam periode pemantauan y (t),
- $EF_{CO_2,f}$: faktor emisi CO₂ default untuk kegiatan angkutan barang f (g CO₂ /t km).

2.4. Emisi Proyek

Emisi proyek merupakan emisi setelah diterapkannya proyek hidrotermal. Emisi ini bersumber dari pembakaran *Refused Derived Fuel* (RDF) yang digunakan sebagai bahan bakar teknologi hidrotermal. Selain itu, emisi proyek dihasilkan dari transportasi pengangkutan sampah dan emisi dari listrik yang dikonsumsi oleh kegiatan proyek hidrotermal. Emisi proyek (PE_y) diestimasi dengan metode AMS-III.E yang diformulasikan sebagai berikut:

$$PE_y = PE_{y,comb} + PE_{y,transp} + PE_{y,power} \quad (5)$$

dimana:

- PE_y : emisi GRK proyek di tahun y (t CO₂ e),
- $PE_{y,comb}$: emisi yang dihasilkan melalui pembakaran dan gasifikasi non biomassa karbon limbah dan RDF pada tahun y (t CO₂ e),
- $PE_{y,transp}$: emisi yang dihasilkan melalui transportasi tambahan pada tahun y (t CO₂ e),
- $PE_{y,power}$: emisi yang dihasilkan melalui konsumsi listrik pada tahun y (t CO₂ e).

Emisi proyek yang dihasilkan dari pembakaran RDF sebagai bahan bakar mesin hidrotermal dan bahan bakar tambahan diestimasi dengan metode AMS.III. E. $PE_{y,comb}$ diformulasikan sebagai berikut:

$$PE_{y,comb} = Q_{y,non-biomass} \times \frac{44}{12} + Q_{y,fuel} \times EF_{y,fuel} \quad (6)$$

dimana:

- $Q_{y,non-biomass}$: karbon non-biomassa dari limbah dan pembakaran RDF pada tahun y (t CO₂ e),
- $Q_{y,fuel}$: jumlah bahan bakar tambahan yang digunakan pada tahun y (t),
- $EF_{y,fuel}$: faktor emisi CO₂ untuk pembakaran bahan bakar tambahan (ton CO₂ per ton bahan bakar).

Emisi proyek yang dihasilkan dari jarak pengangkutan sampah oleh kendaraan dari titik angkut ke lokasi proyek hidrotermal diestimasi dengan *Tool 12 "tool project and leakage emissions from transportation of freight* (Metode 12 Emisi proyek dan kebocoran dari transportasi pengangkutan)" versi 01.1.0. $PE_{y,transp}$ diformulasikan sebagai berikut:

$$PE_{y,transp} = \sum_{f=1}^F D_{f,y} \times FR_{f,y} \times EF_{CO_2,f} \times 10^{-6} \quad (7)$$

dimana:

- $D_{f,y}$: jarak perjalanan pulang-pergi antara lokasi perumahan Summarecon Serpong ke TPA Jatiwaringin pada kegiatan pengangkutan sampah f dalam periode pemantauan y (km),
- $FR_{f,y}$: jumlah massa sampah yang diangkut dalam kegiatan pengangkutan sampah f dalam periode pemantauan y (t),
- $EF_{CO_2,f}$: faktor emisi CO₂ default untuk kegiatan truk sampah f (g CO₂ /t km)

Emisi proyek yang dihasilkan dari konsumsi listrik pada kegiatan proyek hidrotermal diestimasi dengan Tool 05 “tool baseline, project and/or leakage emissions from electricity consumption and monitoring of electricity generation (Metode 05 Emisi baseline, proyek dan kebocoran dari konsumsi listrik dan pemantauan pembangkit listrik)” versi 03.0. $PE_{y,power}$ diformulasikan sebagai berikut:

$$PE_{EC,y} = \sum_j EC_{PJ,j,y} \times EF_{EF,j,y} \times (1 + TDL_{j,y}) \quad (8)$$

dimana:

- $PE_{EC,y}$: emisi proyek dari konsumsi listrik pada tahun y (t CO₂ e / tahun),
- $EC_{PJ,j,y}$: kuantitas listrik yang dikonsumsi oleh proyek sumber konsumsi listrik j pada tahun y (MWh /tahun),
- $EF_{EF,j,y}$: faktor emisi pembangkit listrik untuk sumber j pada tahun y (t CO₂ / MWh),
- $TDL_{j,y}$: kehilangan transmisi dan distribusi teknis rata-rata untuk penyediaan listrik ke sumber j pada tahun y .

2.5. Analisis Kelayakan Finansial

Analisis kelayakan finansial menggunakan analisis arus kas (cash flow) dan pengembalian laba atas investasi (return on investment atau ROI). Arus kas mengevaluasi arus kas masuk dan arus kas keluar dari kegiatan operasional dan pembiayaan proyek hidrotermal yang dapat merepresentasikan laba tahunan. Laba di tahun y , π_y , diformulasikan sebagai berikut (Gotze et al. 2008):

$$\pi_y = \sum_{m=1}^{12} INF_{m,y} - \sum_{m=1}^{12} OUT_{m,y} \quad (9)$$

dimana:

- $INF_{m,y}$: penerimaan pada bulan m di tahun y (Rp),
- $OUT_{m,y}$: biaya-biaya pada bulan m di pada tahun y (Rp).

Kinerja investasi dapat diukur dengan menggunakan ROI. ROI adalah persentase yang mewakili nilai bersih yang diterima dari investasi selama periode waktu tertentu. ROI diformulasikan sebagai berikut (Gotze et al. 2008):

$$ROI_{periode\ tahun\ y} = \frac{\sum_{y=1}^Y \pi_y}{biaya\ investasi} \times 100\% \quad (10)$$

Studi kelayakan finansial dievaluasi dengan menggunakan Net Present Value (NPV), Rasio Biaya Manfaat (Benefit-Cost Ratio atau BCR), dan tingkat pengembalian internal (Internal Rate of Return atau IRR). NPV adalah selisih antara nilai kini dari arus kas masuk pada tahun y , $PVIN F_y$, dan nilai kini dari arus kas keluar pada tahun y , $PVOUT_y$, selama periode waktu $[0,Y]$, sebagai berikut:

$$NPV = \sum_{y=0}^Y PVINF_y - \sum_{y=0}^Y PVOUT_y \quad (11)$$

Jika $NPV > 0$, proyek akan menguntungkan dan sebaliknya. BCR adalah rasio $PVIN F_y$ terhadap $PVOUT_y$ selama $[0,Y]$, yang menunjukkan jumlah manfaat yang dikembalikan untuk setiap satu rupiah yang diinvestasikan. BCR diformulasikan sebagai berikut (Gotze et al. 2008):

$$BCR = \sum_{y=0}^Y PVINF_y / \sum_{y=0}^Y PVOUT_y \quad (12)$$

$PV INF_y$ dan $PV OUT_y$ dirumuskan sebagai berikut:

$$PV INF_y = \frac{1}{(1+r)^y} \times \sum_{m=1}^{12} INF_{m,y} \quad (13)$$

$$PV OUT_y = \frac{1}{(1+r)^y} \times \sum_{m=1}^{12} OUT_{m,y} \quad (14)$$

dimana r adalah biaya modal (% per tahun)

IRR adalah persentase tingkat pengembalian yang dihitung untuk setiap tahun yang diinvestasikan. IRR adalah tingkat diskonto yang membuat NPV sama dengan nol. IRR bergantung pada formula yang sama dengan NPV. Jika IRR lebih besar dari suku bunga yang digunakan maka investasi akan menguntungkan (Gotze et al. 2008).

Tabel 1 Parameter, unit, dan sumber data

No	Parameter	Unit	Sumber data	Keterangan
1.	φ_y	-	Standar nilai	Nilai = 0,85 (UNFCCC, 2017)
2.	$GW P_{CH_4}$	t CO ₂ e	Standar nilai	Nilai = 28 (IPCC <i>Fifth Assessment Report</i> 2014)
3.	W_y	Ton	Pengamatan	Lokasi pengamatan pada TPA yang sumber sampahnya berasal dari wilayah perumahan di Summarecon Serpong
4.	f_y	-	Asumsi	Perpres Nomor 61 Tahun 2011
5.	$Default_x$	-	Standar nilai	Tabel <i>default x values for simplified procedur – tropical wet</i> , x = 1-19 (UNFCCC, 2017)
6.	$Q_{y,non-biomass}$	t CO ₂ e	Perhitungan	Nilai = 15% (Yoshikawa, 2014)
7.	$Q_{y,fuel}$	Ton	Pengamatan	Tidak terdapat bahan bakar tambahan (Safril <i>et al.</i> 2017)
8.	$EF_{PJ,i,y}$	ton CO ₂	Standar nilai	Nilai = 63,1 (KLH, 2012)
9.	$EC_{PJ,i,y}$	MWh/th	Perhitungan	<i>Calculating greenhouse gas emissions – electrical appliances</i> (diakses pada website www.coolaustralia.org)
10.	$EF_{EF,i,y}$	t CO ₂ /MWh	Standar nilai	Nilai <i>ex-ante</i> Jawa, Madura, Bali = 0.862 (ESDM, 2016)
11.	$TDL_{j,y}$	-	Standar nilai	Nilai = 9.32% (PLN, 2019)
11.	$D_{f,y}$	Km	Pengukuran, perhitungan	pengukuran jarak melalui fitur <i>google maps</i>
12.	$FR_{f,y}$	Ton	Perhitungan	(jumlah timbulan sampah per hari dari seluruh rumah tangga) x (jumlah kegiatan pengangkutan dalam setahun)
13.	$EF_{CO_2,f}$	g CO ₂ /t km	Standar nilai	Nilai = 245 (UNFCCC, 2012)
14.	$INF_{m,y}$	Rupiah	Perhitungan	Nilai = Rp 50.000,00 ¹ Harga jual RDF –Yoshikawa (2014)
15.	$OUT_{m,y}$	Rupiah	Perhitungan	Biaya operasional – Ummatin <i>et al.</i> (2016), SK Gubernur Banten – UMK Kabupaten Tangerang 2016, Tarif listrik per KWh – ESDM (2016), dan Yoshikawa (2014)

$$IRR = r_1 + \frac{NPV_1}{NPV_1 - NPV_2} (r_2 - r_1) \quad (15)$$

dimana:

- NPV_1 : NPV yang bernilai positif,
- NPV_2 : NPV yang bernilai negatif,
- r_1 : biaya modal yang menyebabkan NPV positif,
- r_2 : biaya modal yang menyebabkan NPV negatif.

2.6. Jenis dan Sumber Data

Jenis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder yang meliputi beberapa parameter yang dibutuhkan untuk mengestimasi emisi GRK serta gambaran umum pada lokasi penelitian. Data tersebut diperoleh dari berbagai sumber seperti Panduan Metode UNFCCC, Laporan penilaian IPCC ke-5 (AR5), Peraturan Presiden Nomor 61 Tahun 2011, Buku Statistik PLN tahun 2019, Buku Panduan CDM Indonesia 2016, SK Gubernur Provinsi Banten 2016 tentang UMK Kabupaten Tangerang, dan lainnya. Diperoleh juga dari berbagai sumber lainnya seperti jurnal ilmiah, artikel, berita, dan skripsi yang relevan dengan penelitian ini. Adapun informasi lebih lengkap terkait parameter, unit, dan sumber data dapat dilihat pada Tabel 1.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Potensi Emisi GRK sebelum adanya Proyek Hidrotermal

Jumlah timbulan sampah rumah tangga di Summarecon Serpong dipengaruhi oleh jumlah rumah tangga di perumahan Summarecon Serpong. Menurut data pada *website* resmi Summarecon Serpong pada tahun 2020, terdapat 8000 rumah tangga yang menghuni di perumahan Summarecon Serpong. Merujuk BAPPENAS (2014), standar sampah yang dihasilkan setiap orang per hari adalah 0,5 kg. Penelitian ini mengasumsikan setiap rumah tangga terdiri atas empat orang, maka berdasarkan standar sampah yang dihasilkan setiap orang per hari, setiap rumah tangga menghasilkan sampah sebanyak 2 kg sampah per hari. Berdasarkan asumsi tersebut, estimasi jumlah sampah yang ditimbulkan oleh seluruh rumah tangga di perumahan Summarecon Serpong sebanyak ±16 ton/hari atau ±5840 ton/tahun.

Emisi *baseline* sebelum adanya proyek hidrotermal berasal dari pembusukan jumlah sampah rumah tangga perumahan Summarecon Serpong di TPA Jatiwaringin dan kegiatan pengangkutan sampah dari perumahan Summarecon Serpong ke TPA Jatiwaringin. Emisi dari pembusukan sampah di TPA Jatiwaringin termasuk ke dalam salah satu dari lima potensi utama sumber emisi GRK pada sektor limbah yang diklasifikasikan oleh IPCC (2006). Emisi *baseline*

¹ ipb.link/iuranmasyarakat (diakses 11 Agustus 2020)

dipengaruhi jumlah sampah yang dibuang ke TPA sebesar ±5840 ton/tahun dan jarak yang ditempuh angkutan sampah dari perumahan Summarecon Serpong ke TPA Jatiwaringin (pulang-pergi) sebesar ±41.434 km/tahun dengan jumlah massa sampah yang diangkut sebesar 1664 ton/tahun. Potensi emisi yang dihasilkan pada pembusukan di TPA sebesar 1875 t CO_{2e} di tahun 2021 dan kegiatan pengangkutan sampah ke TPA sebesar 16.892 t CO_{2e} di tahun 2021. Berdasarkan potensi emisi tersebut, total potensi emisi *baseline* adalah sebesar 18.766 t CO_{2e} di tahun 2021 dan akan meningkat menjadi 21.865 t CO_{2e} di tahun 2030 (meningkat 16,5%).

Emisi *baseline* akan terus mengalami peningkatan jika tidak dilakukannya upaya pengurangan volume sampah yang dibuang ke TPA Jatiwaringin dari perumahan Summarecon Serpong. Berdasarkan hal tersebut, proyek hidrotermal diperlukan sebagai proyek pengolahan sampah rumah tangga di perkotaan untuk mencegah pembuangan sampah rumah tangga dari perumahan Summarecon Serpong ke TPA Jatiwaringin sehingga dapat mengurangi volume sampah yang dibuang ke TPA.

3.2. Potensi Reduksi Emisi GRK setelah adanya Proyek Hidrotermal

Emisi proyek merupakan emisi yang dihasilkan setelah adanya proyek hidrotermal. Potensi emisi proyek berasal dari tiga komponen, yaitu: 1) emisi dari pembakaran RDF, 2) emisi dari kegiatan pengangkutan sampah ke proyek, dan 3) emisi dari konsumsi listrik proyek hidrotermal. Total penggunaan RDF sebagai bahan bakar teknologi hidrotermal adalah 307 ton RDF/tahun sehingga potensi emisi yang dihasilkan dalam setiap tahunnya sebesar 1,12 t CO_{2e}. Kegiatan pengangkutan sampah ke proyek hidrotermal menempuh jarak ±12.105

km/tahun dengan jumlah massa sampah yang diangkut sebesar 1664 ton/tahun sehingga menghasilkan potensi emisi sebesar 4935 t CO_{2e}/tahun. Jumlah konsumsi listrik pada proyek hidrotermal diestimasi sebesar 1097 kWh sehingga menghasilkan potensi emisi sebesar 947 t CO_{2e}/tahun. Berdasarkan potensi emisi dari setiap komponen, total emisi proyek adalah sebesar 5883 t CO_{2e}/tahun.

Reduksi emisi diperoleh dari selisih antara emisi *baseline* dan emisi proyek. Emisi yang dihasilkan pada kondisi *baseline* dan proyek dipengaruhi oleh jumlah timbulan sampah yang berkaitan dengan jumlah rumah tangga. Potensi reduksi emisi GRK diestimasi dengan dua skenario untuk membandingkan potensi reduksi emisi pada jumlah rumah tangga yang berbeda yang akan mempengaruhi jumlah timbulan sampah. Asumsi pada Skenario 1 dan Skenario 2 ditunjukkan pada Tabel 2 dan hasil perhitungan potensi reduksi emisi GRK pada dua skenario ditunjukkan pada Tabel 3.

Potensi reduksi emisi pada penelitian ini selanjutnya diestimasi dalam jangka panjang selama 10 tahun, yaitu tahun 2021-2030. Hal tersebut bertujuan untuk menunjukkan kontribusi proyek hidrotermal dalam mendukung target NDC Indonesia dalam mereduksi emisi GRK sebesar 29% dengan usaha sendiri pada tahun 2030 (KLH 2017).

Proyek hidrotermal memiliki potensi persentase reduksi emisi GRK yang tinggi bila diestimasi menggunakan Skenario 1, yaitu berkisar antara 68,65% hingga 73,09% pada tahun 2021-2030. Hal tersebut dikarenakan jumlah timbulan sampah rumah tangga pada Skenario 1 lebih rendah sehingga frekuensi putaran pemrosesan sampah hanya membutuhkan dua kali putaran dan emisi proyek yang dihasilkan lebih rendah.

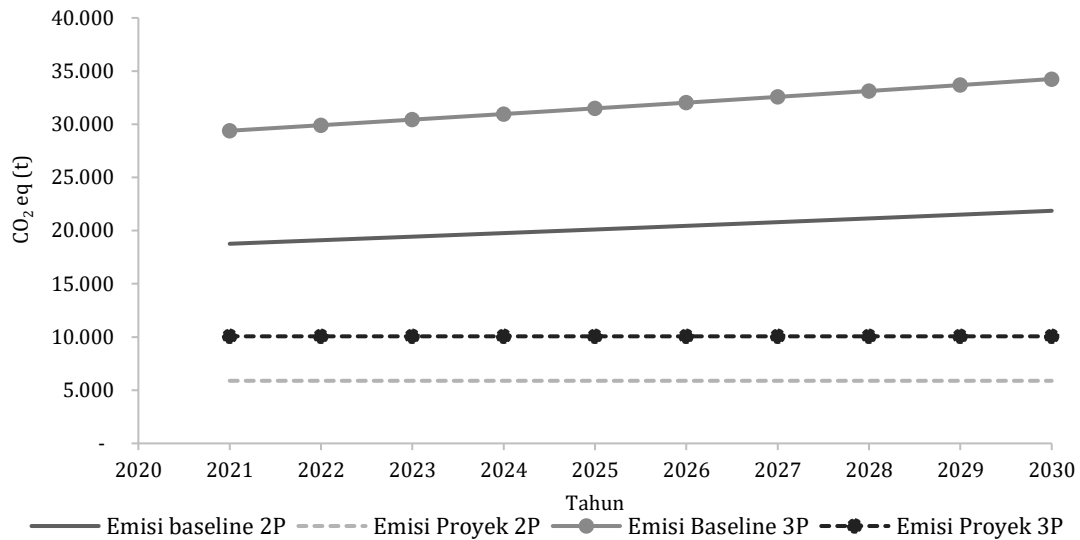
Tabel 2 Asumsi Skenario 1 dan Skenario 2

Skenario	Jumlah Rumah Tangga	Input Sampah per hari (ton)	Operasionalisasi hidrotermal (putaran per hari)
1	8000	16	2
2	12.000	24	3

Tabel 3 Perhitungan reduksi emisi GRK proyek hidrotermal tahun 2021

Skenario	CO ₂ eq (t)			Persentase Reduksi emisi (%)
	Emisi <i>Baseline</i>	Emisi Proyek	Reduksi Emisi	
1	18.766	5.883,7	12.882,52	68,65%
2	29.390	10.064,9	19.325	65,75%

Sumber: Data Sekunder dan Hasil Analisis Data (2021)



Gambar 1 Emisi GRK dalam skenario proyek hidrotermal tahun 2021-2030. (Keterangan, P adalah operasionalisasi hidrotermal dalam putaran per hari)

Hasil estimasi potensi reduksi emisi pada penelitian ini menunjukkan bahwa proyek hidrotermal layak dalam mereduksi emisi GRK pada dua skenario. Rata-rata persentase reduksi emisi pada Skenario 1 dan Skenario 2 tahun 2021-2030 sebesar 70,94% dan 68,26% dari kondisi *baseline*.

Sebagai pembandingan proyek hidrotermal, proyek lain yang memiliki potensi dalam mereduksi emisi GRK di TPA adalah *flaring* (World Bank, 2007). *Flaring* mengurangi emisi GRK melalui pembakaran terhadap gas metana di TPA untuk dikonversi menjadi energi listrik. Proyek *flaring* memiliki potensi reduksi emisi GRK yang hampir sama dengan proyek hidrotermal, yaitu berkisar antara 60% hingga 69% (Wahyono 2014), namun proyek tersebut hanya sebatas mengurangi emisi GRK di TPA tanpa mengatasi volume tumpukan sampah di TPA yang dapat memicu *overcapacity*.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa proyek hidrotermal merupakan proyek pengelolaan sampah yang berkelanjutan secara teknis. Proyek hidrotermal dapat dikatakan berkelanjutan karena memiliki dua keunggulan, yaitu mampu mengurangi

emisi GRK di TPA dan mampu mengurangi jumlah sampah yang dibuang ke TPA sehingga mencegah TPA mengalami *overcapacity*.

3.3. Analisis Kelayakan Finansial

Analisis kelayakan finansial pada proyek hidrotermal dilakukan dengan memperhitungkan arus penerimaan dan arus pengeluaran tahun 2015-2030 serta ROI pada tahun 2030. Penerimaan proyek hidrotermal bersumber dari iuran sebesar Rp50.000/bulan untuk setiap rumah tangga, sehingga total penerimaan iuran adalah Rp4.800.000.000/tahun. Selain itu, penerimaan juga diperoleh dari penjualan produk RDF sebanyak 1728 ton RDF/tahun, dengan asumsi harga jual RDF Rp2.010.000/ton, maka hasil penerimaan dari penjualan RDF per tahun sebesar Rp. 3.473.280.000. Sedangkan, pengeluaran proyek terdiri dari komponen biaya investasi sebesar 28 miliar (Ummatin *et al.* 2017) dan komponen biaya operasional yang dirinci pada Tabel 4.

Tabel 4 Rincian Biaya Operasional Tahun 2016-2030

No	Jenis Biaya	Tahun	Jumlah Biaya (Rp/tahun)
1.	Biaya tenaga kerja operasional (18 orang) (kenaikan upah 8,51%/tahun)	2016	652.676.400
2.	Biaya tenaga kerja manajemen (3 orang) (kenaikan upah 8,51%/tahun)	2016-2030	108.779.400
3.	Biaya listrik	2016-2030	1.224.270
4.	Biaya pemasaran	2016-2030	240.000.000
5.	Biaya <i>maintenance</i>	2016-2030	20.100.000
6.	Biaya BBM transportasi (subsidi)	2016-2018	34.528.896
7.	Biaya BBM transportasi (non-subsidi)	2019-2030	62.353.152
8.	Kemasan produk RDF	2016-2030	86.400.000
9.	Biaya BBM transportasi (subsidi)	2016-2018	34.528.896

Sumber: Data Sekunder

Tabel 5 Alternatif analisis kelayakan finansial

Alternatif	Penjualan RDF (%/tahun)	Iuran masyarakat (%/tahun)
1	100%	100%
2	72%	50%
3	65%	50%

Tabel 6 Hasil analisis kelayakan finansial tahun 2015-2030 dan ROI tahun 2030

Alternatif	NPV (Juta Rp)	BCR	IRR (%)	ROI (%)
1	29.876,22	1,69	23,01%	69,23%
2	106,59	1,00	7,57%	0,25%
3	-2.039,53	0,95	6,19%	-4,73%

Sumber: Data Sekunder dan Hasil Analisis Data (2021)

Analisis kelayakan finansial pada proyek hidrotermal menggunakan analisis *cashflow* dan ROI dengan tiga alternatif. Selama periode 15 tahun dapat terjadi ketidakpastian seperti penurunan tingkat penjualan dan penurunan harga jual produk yang dapat mempengaruhi kestabilan penerimaan, oleh karena itu dilakukan analisis sensitivitas pada tiga alternatif. Setiap alternatif memiliki asumsi persentase penerimaan proyek yang berbeda Alternatif 1 mengasumsikan penerimaan yang optimis. Alternatif 2 mengasumsikan terjadi penurunan penjualan RDF hingga 70%, namun pada tingkat tersebut tidak mencapai keuntungan minimum atau nilai $BCR < 1$ sehingga target minimum penjualan ditingkatkan menjadi 72% dan iuran masyarakat menjadi 50%. Alternatif 3 mengasumsikan terjadi penurunan penjualan RDF lebih rendah hingga di bawah target minimum penjualan yaitu 65% dan iuran masyarakat menjadi 50%. Kondisi tiga alternatif analisis kelayakan finansial tersebut ditunjukkan pada Tabel 5.

Analisis kelayakan finansial pada penelitian ini menggunakan kriteria kelayakan finansial, yaitu NPV, BCR, IRR, dan ROI. Tingkat suku bunga yang digunakan adalah tingkat suku bunga obligasi Bank Indonesia tahun 2021 sebesar 7,5% (BI 2020)². Hasil analisis pada tiga alternatif dengan kriteria kelayakan finansial ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6 menunjukkan bahwa hanya Alternatif 1 dan 2 layak secara finansial. Hal ini disebabkan oleh nilai NPV positif, BCR lebih dari satu, dan IRR lebih besar dari suku bunga yang digunakan, serta persentase ROI positif. Selama 15 tahun, investasi teknologi hidrotermal sebesar Rp 28.247.207.000,00 di tahun 2015, akan 69,23% tertutupi dari

penerimaan tahunan yang meliputi 100% RDF terjual dan 100% iuran rumah tangga.

Proyek hidrotermal berpotensi mereduksi emisi GRK sebesar 68,65% dengan proyeksi hingga tahun 2030 dan membutuhkan total biaya sebesar 43 miliar rupiah. Meskipun membutuhkan biaya yang besar, proyek hidrotermal akan layak secara finansial jika tingkat penjualan RDF setidaknya 72% dan kesediaan masyarakat membayar iuran mencapai 50%. RDF akan terjual sesuai target jika promosi dan pemasaran dioptimalkan dan tepat sasaran seperti, kepada pabrik semen dan pembangkit listrik (Bimantara 2012). Jumlah iuran dari masyarakat dapat memenuhi target jika masyarakat mendapatkan pelayanan yang merata dan adanya kesadaran masyarakat tentang pentingnya pengelolaan sampah rumah tangga.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa proyek hidrotermal memiliki keunggulan dalam sumber pendanaan dibandingkan dengan proyek pengurangan emisi GRK lain, salah satunya *flaring*. Proyek *flaring* membutuhkan biaya yang tinggi dalam penerapannya, namun sumber penerimaan untuk memenuhi kebutuhan biaya tidak dapat dipastikan. Hal tersebut dikarenakan penerimaan proyek *flaring* hanya bergantung pada penjualan karbon kepada *World Bank*, dan terdapat kemungkinan kerugian jika status proyek tersebut dinyatakan tidak memuaskan oleh *World Bank* (Wahyono 2014).

Proyek pengurangan emisi GRK di TPA selain *flaring* adalah Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSA) yang telah beroperasi di TPA Bantargebang. Penelitian Widyaputri (2014) menyatakan bahwa penerapan PLTSA layak secara finansial dan ekonomi meskipun membutuhkan biaya yang tinggi. Biaya yang dikeluarkan dapat tertutupi oleh penerimaan

² <https://www.bi.go.id/id/publikasi/ruang-media/news-release/Pages/Suku-Bunga-Obligasi-Pemerintah-RI-Seri-SBR007-Periode-11-Januari-2021-s.d.-10-April-2021.aspx> (diakses pada 29 Maret 2021)

yang bersumber dari penjualan listrik kepada PLN Jawa-Bali dan *tipping fee* dari Pemerintah Provinsi DKI Jakarta. Sumber penerimaan tersebut berpotensi mengalami ketidakstabilan dikarenakan harga jual listrik dari PLTSa yang rendah sehingga tidak menarik bagi investor dan *tipping fee* yang ditanggung oleh pemerintah dapat dihentikan sewaktu-waktu. Apabila PLTSa dan proyek *flaring* dibandingkan dengan proyek hidrotermal, terdapat keunggulan yang dimiliki oleh proyek hidrotermal dalam aspek pendanaan berupa sumber penerimaan yang jelas yaitu penjualan RDF dan iuran masyarakat.

Keunggulan proyek hidrotermal dalam sumber penerimaan akan terealisasi jika persiapan pada aspek pemasaran dan kelembagaan dilakukan secara optimal. Persiapan pada aspek pemasaran berupa melakukan kerjasama dengan pihak yang berpotensi sebagai konsumen dari produk RDF seperti pabrik semen yang berlokasi di Kabupaten Tangerang dan sekitarnya, diantaranya PT. Semen Indonesia Beton Plant dan pabrik semen SCG Jayamic.

Peran pengelola dibutuhkan dalam menjalankan suatu proyek, oleh sebab itu diperlukan persiapan pada aspek kelembagaan yang melibatkan kerjasama dengan berbagai pihak yang relevan. Kerjasama dapat dilakukan dengan perusahaan swasta dalam penyediaan teknologi, kerjasama dengan DLH serta Bupati Kabupaten Tangerang dalam pemantauan keberlanjutan keuangan dan kinerja proyek, dan kerjasama dengan pengembang (*developer*) perumahan swasta sebagai pihak pengguna jasa pengolahan sampah dengan hidrotermal.

Penelitian ini dapat dijadikan referensi bagi provinsi dan kabupaten atau kota lainnya di Indonesia seperti Kabupaten Tangerang sebagai upaya dalam mengatasi permasalahan sampah perkotaan, namun diperlukan biaya yang cukup besar untuk membangun serta mengoperasikan proyek hidrotermal skala perkotaan. Proyek hidrotermal dapat diterapkan sebagai salah satu upaya mitigasi untuk mencapai target Rencana Aksi Daerah Pengurangan Emisi GRK (RAD-GRK) Provinsi Banten di sektor pengelolaan limbah sebesar 9,26%. Adapun biaya yang dibutuhkan untuk menerapkan teknologi hidrotermal ini sebesar 43 milyar rupiah. Investasi pembangunan proyek ini dapat diusulkan pada Anggaran Pendapatan dan Belanja Daerah (APBD) dan biaya operasional diperoleh dari penjualan RDF dan iuran masyarakat. Besarnya penerimaan yang diperlukan menjadi resiko pada penerapan teknologi hidrotermal sebab jika sumber penerimaan tidak dapat memenuhi keperluan pengeluaran akan menyebabkan kerugian hingga pemberhentian operasional proyek hidrotermal.

Beberapa proyek hidrotermal yang telah diterapkan seperti di kota mandiri Summarecon Serpong, Cilacap, dan Bandung menunjukkan bahwa pengoperasian hidrotermal membutuhkan biaya yang

tinggi dan memerlukan kerja sama dengan berbagai pihak. Proyek hidrotermal atau Tempat Pengolahan Sampah Terpadu RDF (TPST RDF) yang berada di Cilacap membutuhkan biaya investasi sebesar 90 miliar rupiah, dimana dalam pendanaannya didukung oleh KLHK berupa penyediaan alat, Pemerintah Provinsi Jawa Tengah berupa subsidi biaya operasional, Pemerintah Kabupaten Cilacap berupa penyediaan kendaraan pengangkut sampah, dan pihak swasta dalam penyediaan teknologi. RDF hasil pemrosesannya terjual sepenuhnya oleh pabrik semen yaitu PT. Solusi Bangun Indonesia (SBI)³.

Proyek hidrotermal lain yang berada di Bandung berkapasitas sebesar 2,5 L yang dikelola oleh satu perusahaan yaitu Guna Olah Limbah (GOL) dan bekerjasama dengan PT. Softex Indonesia dalam mengolah limbah popok dan pembalut. Proyek tersebut memiliki keterbatasan dalam kapasitas pemrosesan yang disebabkan oleh sumber pendanaan, sehingga memerlukan dukungan dari pemerintah setempat terkait pengelolaan dan pendanaannya⁴. Apabila dibandingkan dengan proyek hidrotermal di Summarecon Serpong, terdapat keunggulan pada proyek tersebut berupa kapasitas pemrosesan yang lebih besar dikarenakan teknologi yang disediakan oleh PT. Shinko Teknik Indonesia memadai, selain itu terdapat sumber pendanaan yang berasal dari investasi oleh PT. Summarecon Agung, Tbk serta penerimaan dari penjualan RDF dan iuran masyarakat.

Proyek hidrotermal dapat berkontribusi dalam mencapai target ke-11.6 dan ke-12.5 SDGs. Target ke-11.6 membahas pengurangan dampak lingkungan perkotaan dengan memperbaiki kualitas udara dan pengelolaan sampah kota. Syarat suatu kota dapat dikatakan berkelanjutan jika memiliki sistem pengelolaan sampah yang memadai. Proyek hidrotermal merupakan sistem pengelolaan sampah yang memadai sebab mampu mengurangi jumlah sampah kota yang dibuang ke TPA dengan sistem pengolahan yang ramah lingkungan. Target ke-12.5 membahas pengurangan timbulan sampah melalui tindakan pencegahan, pengurangan volume sampah yang ditimbulkan, daur ulang, dan pengolahan terhadap sampah. Teknologi hidrotermal mampu mengurangi jumlah sampah dari kegiatan produksi dan konsumsi yang dibuang ke TPA serta memanfaatkan kembali sebagai bahan bakar yang merupakan bentuk tanggung jawab dari kegiatan produksi dan konsumsi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa proyek hidrotermal dapat dikatakan layak sebagai proyek CDM. Hal tersebut didukung oleh pernyataan KLH (2006) bahwa terdapat aspek penting yang harus dipenuhi dalam kelayakan proyek CDM, di antaranya proyek harus menunjukkan adanya pengurangan emisi jika dibandingkan dengan kondisi *baseline* dan

³ ipb.link/hidrotermalcilacap (diakses 19 Juni 2021)

⁴ ipb.link/hidrotermalbandung (diakses 19 Juni 2021)

proyek harus sejalan dengan kebijakan di negara tersebut serta sejalan dengan pencapaian target SDGs.

Pemrosesan sampah dengan hidrotermal menghasilkan produk berupa RDF yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan. Hal tersebut didukung oleh penelitian Triyono *et al.* (2016) yang menyatakan bahwa kandungan klorin yang terkandung dalam sampah telah tereduksi secara efektif pada proses hidrotermal sehingga emisi yang dihasilkan pada pembakaran RDF masih didalam batas yang diijinkan jika diaplikasikan sebagai bahan bakar. Pernyataan tersebut juga didukung oleh penelitian Yoshikawa (2009) yang merekomendasikan pemakaian RDF sebagai bahan bakar karena adanya penurunan kandungan klorin.

Manfaat lainnya dari penerapan teknologi hidrotermal adalah mampu mengurangi jumlah sampah yang dibuang ke TPA sehingga dapat mengurangi potensi emisi di TPA. Hal tersebut didukung oleh penelitian Kustiasih *et al.* (2014) yang menyatakan bahwa salah satu upaya untuk meminimalkan emisi GRK di sektor pengelolaan limbah adalah dengan mengurangi jumlah sampah dari rumah tangga ke pembuangan akhir di TPA. Selain itu, Prawisudha *et al.* (2011) menyatakan bahwa teknologi hidrotermal mampu mengurangi volume sampah hingga 75% dan dalam prosesnya teknologi ini membutuhkan energi berupa bahan bakar yang lebih rendah dibandingkan sistem pengolahan sampah konvensional.

4. Kesimpulan

Emisi *baseline* pada tahun 2021 diestimasi sebesar 18.766 t CO₂ e. Emisi tersebut bersumber dari pembusukan sampah di TPA yang menghasilkan emisi sebesar 1875 t CO₂ e dan pengangkutan sampah ke TPA yang menghasilkan emisi sebesar 16.892 t CO₂ e pada tahun 2021. Emisi *baseline* diestimasi akan meningkat menjadi 21.865 t CO₂ e pada tahun 2030 atau meningkat sebesar 16,5% dari tahun 2021 hingga tahun 2030.

Emisi proyek diestimasi sebesar 5883 t CO₂ e per tahun, yang bersumber dari pembakaran RDF (1,12 t CO₂ e per tahun), pengangkutan sampah ke proyek (4935 t CO₂ e per tahun), dan konsumsi listrik proyek (947 t CO₂ e per tahun). Rata-rata potensi reduksi emisi GRK dari proyek hidrotermal tahun 2021-2030 sebesar 70,94% (Skenario 2 putaran per hari) dan sebesar 68,26% (Skenario 3 putaran per hari).

Proyek hidrotermal layak secara finansial dengan nilai NPV, BCR, dan IRR, berturut-turut adalah Rp. 29.876.220.730, 1,69, 23,01% dan ROI pada 2030 sebesar 69,23%. Proyek hidrotermal akan layak jika setidaknya 72% RDF dapat terjual dan 50% masyarakat membayar iuran pengolahan sampah dengan hidrotermal.

DAFTAR PUSTAKA

- Bimantara CA. 2012. Analisa Potensi *Refuse Derived Fuel* (RDF) dari Sampah Unit Pengolahan Sampah (UPS) di Kota Depok (Studi Kasus UPS Grogol, UPS Permata Regency, UPS Cilangkap) [skripsi]. Depok (ID): Universitas Indonesia.
- Chaerul, M., Febrianto, A., Tomo, H. S. (2020). Peningkatan Kualitas Penghitungan Emisi Gas Rumah Kaca dari Sektor Pengelolaan Sampah dengan Metode IPCC 2006 (Studi Kasus: Kota Cilacap). *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 18(1),153-161, doi:10.14710/jil.18.1.153-161
- [BAPPENAS] Badan Perencanaan Pembangunan Nasional. 2014. *Pedoman Teknis Perhitungan Baseline Emisi Gas Rumah Kaca Sektor Pengelolaan Limbah*. Jakarta (ID): Badan Perencanaan Pembangunan Nasional.
- [BPS] Badan Pusat Statistik. 2019. Kabupaten Tangerang dalam Angka. Tangerang (ID): Badan Pusat Statistik Kabupaten Tangerang
- Gotze U, Northcott D, Schuster P. 2008. *Investment appraisal: Methods and models*. Berlin (DE): Springer.
- IPCC. 2014. *Climate Change 2014: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Switzerland : IPCC.
- [KESDM] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2016. *Data Inventory Emisi GRK Sektor Energi*. Jakarta (ID): Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral
- [KLH] Kementerian Lingkungan Hidup. 2006. *Panduan Kegiatan MPB di Indonesia*. Jakarta (ID): Kementerian Lingkungan Hidup.
- Kustiasih T, Lya MS, Fitriyani A, Sri D, Aryenti. 2014. Faktor Penentu Emisi Gas Rumah Kaca Dalam Pengelolaan Sampah Perkotaan. *Jurnal Permukiman*. 9(2): 78-90.
- LAN. 2018. *Kajian Strategi Pemerintah Daerah dalam Menghadapi Agenda Perubahan Iklim*. Jakarta (ID): Pusat Kajian Desentralisasi dan Otonomi Daerah
- Prawisudha P, Tomoaki N, Kunio Y. 2011. Coal Alternative Fuel Production from Municipal Solid Wastes Employing Hydrothermal Treatment. *Journal Applied Energy*. 298-304 .
- PLN. 2020. *Statistik PLN 2019*. Jakarta (ID): PLN.
- Triyono B, Muhammad HG, David H, Pandji P, Ari DP. 2016. *State of the Art Teknologi Hidrotermal Untuk Pengolahan Sampah Kota Menjadi Bahan Bakar Padat*. Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XV.
- Ummatin KK, Yakin DA, Arifianti Q. 2017. Analisa Manfaat Biaya Proyek Pembaharuan Unit Pengolahan Sampah Kota Gresik dengan Teknologi Hidrotermal. *Journal Industrial Services*.
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 16 Tahun 2016 Tentang Pengesahan *Paris Agreement To The United Nations Framework Convention On Climate Change* (Persetujuan Paris Atas Konvensi Kerangka Kerja Perserikatan Bangsa-Bangsa Mengenai Perubahan Iklim).
- [UNFCCC] United Nations Framework Convention on Climate Change. 2008. *Kyoto Protocol. Reference Manual: on Accounting of Emissions and Assigned Amount*.

- [UNFCCC] United Nations Framework Convention Climate Change. 2014. Small-scale Methodology: AMS III. E Avoidance of methane production from decay of biomass through controlled combustion, gasification or mechanical/thermal treatment. Version 17.0.
- [UNFCCC] United Nations Framework Convention Climate Change. 2017. Tool04. Methodological tool: Emissions from solid waste disposal sites. Version 08.0.
- [UNFCCC] United Nations Framework Convention Climate Change. 2012. Tool12. Methodological tool: Project and leakage emissions from transportation of freight. Version 01.1.0.
- [UNFCCC] United Nations Framework Convention Climate Change. 2017. Tool05 Methodological tool: Baseline, project and/or leakage emissions from electricity consumption and monitoring of electricity generation. Version 03.0.
- Wahyono, Sri. 2014. Proyek Pengurangan Emisi GRK dengan Proses Pembakaran (Flaring) Terhadap Gas TPA Studi Kasus di TPA Kota Bekasi, Pontianak, Makasar dan Palembang. *Jurnal BPPT*.
- Widyaputri, LAS. 2014. Analisis Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Sampah dan Manfaat Reduksi Emisi Karbon di Tempat Pengolahan Sampah Terpadu Bantargebang [Skripsi]. Bogor(ID): Institut Pertanian Bogor.
- Wijayanti P. 2020. Laporan Kelayakan Teknis. Jakarta (ID): ICLEI SEAS
- Yoshikawa K. 2009. Hydrothermal Treatment of Municipal Solid Waste to Produce Solid Fuel. 7th International Energy Conversion Engineering Conference