



## ARTIKEL PENELITIAN

# Analisis keekonomian skenario pengelolaan sampah di TPA Gunung Panggung Tuban Jawa Timur

Rahmah Arfiah Ula<sup>1</sup>, Imam Haryanto<sup>2</sup>, Agus Prasetya<sup>3,\*</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Ilmu Lingkungan, Minat Studi Magister Teknologi untuk Pengembangan Berkelanjutan, Sekolah Pascasarjana Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 55281, Indonesia

<sup>2</sup>Departemen Teknik Sipil, Sekolah Vokasi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia Jl. Jacaranda, Kampus UGM, Yogyakarta, 55281, Indonesia

<sup>3</sup>Departemen Teknik Kimia, Universitas Gadjah Mada, Jl. Grafika No.2, Kampus UGM, Yogyakarta, 55281, Indonesia

Disubmit 08 Oktober 2021; direvisi 18 November 2021; diterima 19 Desember 2021



**OBJECTIVES** This study aims to evaluate the economic feasibility of the waste processing scenario which involves anaerobic digestion (AD), composting & landfilling. **METHODS** Handling municipal waste using some alternative methods other than dumping and landfilling or both is needed to reduce its environmental impact. Previous research using a life cycle assessment (LCA) approach showed that the scenario has lower global warming potential impact at the Gunung Panggung landfill, Tuban Regency. **RESULTS** The economic feasibility analysis showed positive results with a benefit cost ratio (BCR) of 1,62, net present value (NPV) of Rp34.893.409.826,37, and internal rate return (IRR) of 34,07%. **CONCLUSIONS** Sensitivity analysis was carried out by varying the price of the product and the cost of production. Sensitivity analysis showed that there was no significant difference in feasibility and this investment was economically feasible.

**KEYWORDS** feasibility analysis; economic sensitivity analysis; TPA Gunung Panggung; anaerobic digestion; composting; land-fill

**TUJUAN** Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis keekonomian pada skenario alternatif pengolahan sampah yang melibatkan *aerobic digestion* (AD), pengomposan, dan *landfilling*. **METODE** Penanganan sampah menggunakan beberapa metode alternatif selain *dumping* dan *landfilling*

atau keduanya diperlukan untuk mengurangi dampak lingkungan yang ditimbulkan. Penelitian terdahulu menggunakan pendekatan *life cycle assessment* (LCA) menunjukkan bahwa skenario tersebut memberikan dampak potensi pemanasan global yang lebih rendah di TPA Gunung Panggung, Kabupaten Tuban. **HASIL** Analisis kelayakan ekonomi menunjukkan hasil positif dengan nilai *benefit cost ratio* (BCR), *net present value* (NPV), dan *internal rate return* (IRR) masing-masing sebesar 1,62, Rp34.893.409.826,37, dan 34,07%. **KE-SIMPULAN** Analisis sensitivitas dilakukan dengan memvariasikan harga produk dan biaya produksi. Adanya perubahan harga tidak menunjukkan perubahan yang signifikan terhadap nilai kelayakan investasi ini.

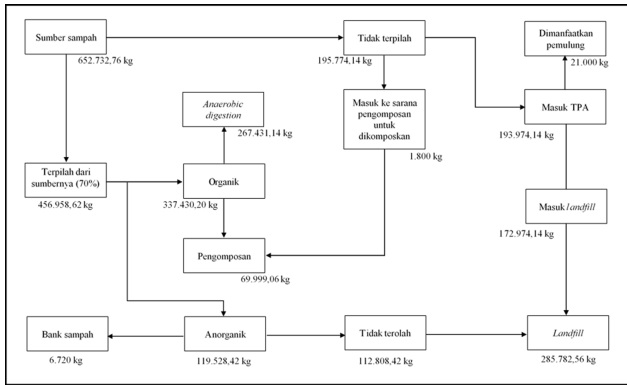
**KATA KUNCI** analisis kelayakan; analisis sensitivitas keekonomian; TPA Gunung Panggung; *anaerobic digestion*; pengomposan; *landfill*

## 1. PENDAHULUAN

Sampah di Kabupaten Tuban, Jawa Timur, sebagian besar didominasi oleh sampah makanan. Persentase sampah makanan diketahui sebesar 58% pada tahun 2018. Sampah kebun menjadi sampah terbanyak kedua setelah sampah makanan (15,3%), selanjutnya sampah plastik (11,0%), dan sampah kertas (5,8%) (Dinas Lingkungan Hidup 2018). Sebagian besar sampah di Kabupaten Tuban diolah dengan cara *landfill*, sementara itu sebagian kecil sampah daunnya diolah dengan cara pengomposan. *Landfill* merupakan metode pengelolaan sampah rumah tangga yang banyak digunakan, terutama pada negara berkembang Saleem dkk. (2016). Berdasarkan *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), penanganan limbah padat baik yang berasal dari rumah tangga maupun industri berkontribusi terhadap terbentuknya gas rumah kaca melalui emisi CH<sub>4</sub>. Selain CH<sub>4</sub>, praktik pengelolaan limbah menghasilkan gas rumah kaca lain, seperti CO<sub>2</sub> dan N<sub>2</sub>O, dalam jumlah yang lebih kecil (Intergovernmental Panel of Climate Change 2006).

Gas-gas seperti CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, dan N<sub>2</sub>O menghalangi radiasi matahari keluar dari bumi dan menyebabkan bumi menga-

\*Korespondensi: [aguspras@ugm.ac.id](mailto:aguspras@ugm.ac.id)



**GAMBAR 1.** Diagram alir dan neraca massa sampah mingguan pada pengelolaan sampah di TPA Gunung Panggung menggunakan skenario landfilling, pengomposan dan Anaerobic Digestion (AD)

lami pemanasan global (Stranddorf dkk. 2005). Pemanasan global sebagai bentuk perubahan iklim memiliki dampak negatif baik bagi manusia, hewan, maupun tumbuhan. Peningkatan suhu mengubah siklus hidup beberapa vektor penyakit, salah satunya nyamuk anopheles. Nyamuk anopheles hidup di daerah panas dan lembap dan bermunculan terutama saat pancaroba. Curah hujan tidak teratur karena suhu yang meningkat menyebabkan nyamuk tersebut dapat muncul sepanjang tahun seperti dilaporkan di Afrika Selatan dan Afrika Timur pada tahun 1988 (Duarsa 2008). Pengaruh pemanasan global pada hewan dan tumbuhan telah dilaporkan, seperti halnya pengaruh pada komunitas terumbu karang di Nusa Tenggara Barat (Setiawan dkk. 2017) dan pengaruh pemanasan global pada tumbuhan liar dan tanaman budidaya (Lippmann dkk. 2019).

Selain pemanasan global, rangkaian aktivitas pengelolaan sampah seperti transportasi pengangkutan sampah, pemakaian alat berat, proses pengomposan, dapat menyebabkan dampak lingkungan lain seperti asidifikasi dan eutrofikasi. Polutan yang dapat menyebabkan asidifikasi di antaranya seperti SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, dan NH<sub>3</sub>. Peruraian polutan-polutan tersebut menghasilkan ion H<sup>+</sup> sehingga lingkungan menjadi lebih asam. Eutrofikasi terjadi akibat adanya banyak nutrisi di perairan dan menyebabkan terjadinya pergeseran komposisi spesies dan perubahan produktivitas biologis, seperti lonjakan alga (Baumann dan Tillman 2004).

Gas metana dan gas-gas lain yang dihasilkan dari degradasi material organik pada landfill tanpa adanya pemanfaatan akan merugikan dan berkontribusi dalam pemanasan global. Dibanding pengelolaan sampah dengan cara landfilling, AD memiliki keunggulan dalam hal mengurangi emisi GHG. Kombinasi AD, insinerasi, dan landfilling memberikan emisi sebesar 1,19 ton CO<sub>2</sub>eq/ton sampah yang diolah (Baldasano dan Soriano 2000). Emisi tersebut merupakan jumlah terendah dibanding emisi yang dihasilkan dari pengelolaan dengan landfill saja maupun kombinasi pengomposan dan landfilling, dengan emisi masing-masing sebesar 1,97 dan 1,61 ton CO<sub>2</sub>eq/ton. Pengelolaan limbah buah di Yogyakarta menggunakan teknologi AD dilaporkan mampu menurunkan GHG sebesar 899 kg CO<sub>2</sub>eq/ton sampah yang diolah (Marendra dkk. 2018). Selain berperan dalam pengurangan gas rumah kaca, AD dapat mengurangi eutrofikasi di perairan. Kaspersen dkk. (2016) melaporkan co-digestion limbah industri makanan, kotoran babi, dan limbah rumput laut dapat

mengurangi GHG sebesar 40.000 ton CO<sub>2</sub>eq/tahun. Beban nitrogen dan fosfor di perairan sekitar fasilitas AD berkurang masing-masing sebesar 63 ton/tahun dan 9 ton/tahun. Pada daerah yang masih memanfaatkan bahan bakar berupa kayu seperti Nepal, penggunaan biogas sebagai alternatif akan sangat menguntungkan. Dilaporkan Sharma dkk. (2019), peralihan bahan bakar kayu ke biogas mengurangi penggunaan kayu sebesar 2.091,36 kg per rumah tangga dan menurunkan emisi GHG sebesar 3,82 ton CO<sub>2</sub>eq/rumah tangga/tahun. Pengurangan bahan bakar kayu ini diestimasikan menyelamatkan sebanyak 11,6 pohon/bangunan biogas rumah tangga/tahun. Secara keseluruhan, luas hutan yang terselamatkan yakni sebesar 0,063 ha. Adanya upaya konservasi hutan dengan beralih ke biogas ini secara tidak langsung akan mendukung penyediaan air, udara yang bersih, dan produk hutan bagi warga setempat (Sharma dkk. 2019).

Studi kasus mengenai dampak lingkungan di TPA Gunung Panggung telah dilakukan sebelumnya (Ula dkk. 2021). Analisis dampak lingkungan dilakukan menggunakan pendekatan life cycle assessment (LCA) dan menunjukkan bahwa skenario pengolahan sampah dengan landfilling, pengomposan, dan AD memberikan emisi pemanasan global terkecil (Ula dkk. 2021). Skenario ini menjadi dasar dilakukannya analisis keekonomian pembangunan fasilitas dan operasional pengelolaan sampah di TPA Gunung Panggung Kabupaten Tuban yang akan diuraikan dalam tulisan ini.

Selain memberikan keuntungan pada lingkungan, dipilihnya anaerobic digestion sebagai salah satu metode pengolahan sampah utamanya karena sampah makanan mendominasi komposisi sampah di TPA, selain itu AD menunjukkan beberapa keuntungan di antaranya 1) lahan yang diperlukan lebih sedikit dibanding landfill, 2) dapat menjadi sumber energi terbarukan sekaligus penghasil pupuk, dan 3) dapat mengurangi emisi CH<sub>4</sub> (Wilkie 2005).

Pembangunan fasilitas pengelolaan sampah perlu mempertimbangkan aspek ekonomi sebagaimana pertimbangan terhadap aspek lingkungan yang diterapkan. Analisis kelayakan pembangunan pembangkit listrik tenaga biogas dengan bahan baku palm oil mill effluent (POME) dilakukan oleh Sugiyono dkk. (2019). Studi kasus dilakukan di pabrik kelapa sawit Sei Pagar PTPN V Pekanbaru. Analisis finansial dilakukan terhadap NPV, IRR, benefit cost ratio (BCR) dan payback period. Zhang dan Xu (2020) melakukan analisis ekonomi pada pembangkit listrik tenaga biogas di China. Analisis LCA dilakukan untuk mengetahui beban lingkungan yang ditimbulkan. Manfaat yang diperoleh dari lingkungan dimasukkan dalam penghitungan analisis ekonomi, seperti penurunan polusi, penurunan gas rumah kaca, dan lain sebagainya. Pembangkit listrik biogas ini, menurunkan beban lingkungan terutama emisi SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, dan debu. Manfaat dari pengu-

**TABEL 1.** Data dari penelitian lain yang berkaitan dengan karakter biogas.

Data	Sumber
Kandungan volatil solid (VS) bahan (26,35%)	(Zhang dkk. 2007)
Volume biogas yang dihasilkan per VS bahan (591 m <sup>3</sup> /ton VS)	(Xu dkk. 2015)
Residu proses fermentasi anaerobik (751 kg/ton VS)	

TABEL 2. Rincian biaya investasi.

No.	Item	Harga	Umur ekonomis (tahun)	Depresiasi
1	Pra pembangunan	2.500.000.000,00	-	-
2	Lahan	7.500.000.000,00	-	-
3	Pencacah**	150.000.000,00	10	15.000.000,00
4	Pompa**	13.000.000,00	10	1.300.000,00
5	Perpipaan	400.000.000,00	50	8.000.000,00
6	Penampung bahan baku	500.000.000,00	30	16.666.666,67
7	Digester*	2.022.048.000,00	30	67.401.600,00
8	Scrubber*	86.659.200,00	10	8.665.920,00
9	Flare*	1.444.320.000,00	20	72.216.000,00
10	Gas holder*	98.704.584,00	15	6.580.305,60
11	Geomembran**	55.587.000,00	10	5.558.700,00
12	Gas engine*	4.005.013.272,00	10	400.501.327,20
13	Biogas dryer*	860.961.600,00	10	86.096.160,00
14	Blower*	18.501.764,00	10	1.850.176,40
15	Biaya pengiriman	150.000.000,00	-	-
16	Controller and electrical system***	3.000.000.000,00	30	100.000.000,00
17	Grid interconnection system***	1.000.000.000,00	30	33.333.333,33
18	Biaya sewa alat berat	2.592.000.000,00	-	-
19	Biaya instalasi***	3.500.000.000,00	-	-
20	Biaya uji coba***	1.500.000.000,00	-	-
Total		32.896.795.420,00		823.170.189,00

\* sumber harga dari Alibaba.com

\*\* sumber harga dari Tokopedia.com

\*\*\*mengacu pada Modul Pembiayaan Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (Otoritas Jasa Keuangan (OJK) Indonesia 2016)

rangan polusi yang dimasukkan dalam analisis ekonomi meningkatkan indikator analisis ekonomi yang dipilih. *Net present value* (NPV) dan IRR meningkat, sementara itu *payback period* menurun. Marendra dkk. (2019) melakukan analisis keberlanjutan (*life cycle sustainable assessment*, LCSA) pada Biogas Plant Gamping, Yogyakarta, yang meliputi aspek lingkungan, ekonomi, dan sosial. Hasil analisis menunjukkan bahwa, secara keseluruhan aspek yang diamati memberikan hasil (*total sustainability grade*) yang sangat baik yakni 4,11 (*grade I*). Adanya analisis keekonomian memberikan pandangan sebuah proyek layak atau tidak untuk dilakukan.

Penelitian ini bertujuan melakukan analisis keekonomian pembangunan fasilitas dan operasional pengelolaan sampah dengan skenario *landfill*, pengomposan dan AD di TPA Gunung Panggung Kabupaten Tuban.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Lokasi kajian dan waktu penelitian

Kajian dilakukan di TPA Gunung Panggung Kabupaten Tuban, Jawa Timur pada tahun 2019. Pengambilan data TPA dan pengelolaannya dilakukan di Dinas Lingkungan Hidup (DLH) dan Dinas Perumahan Rakyat dan Kawasan Pemukiman (PRKP) Kabupaten Tuban.

### 2.2 Prosedur analisis data

Data yang digunakan dalam tulisan ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari Dinas Lingkungan Hidup (DLH) dan Dinas Perumahan Rakyat dan Kawasan Pemukiman (PRKP) Kabupaten Tuban. Data yang dikumpulkan antara lain sebagai berikut:

1. Laju timbulan sampah.
2. Komposisi dan komponen sampah yang diolah di TPA Gunung Panggung.
3. Jumlah sampah yang dimanfaatkan.
4. Teknis pengolahan sampah.
5. Luas lahan TPA.

Beberapa data diperoleh dari penelitian lain yang relevan pada Tabel 1. Data-data lain seperti survei harga aset untuk keperluan analisis kelayakan ekonomi dilakukan melalui situs belanja *online* [www.alibaba.com](http://www.alibaba.com) dan [www.tokopedia.com](http://www.tokopedia.com) menggunakan kata kunci sesuai jenis aset yang diperlukan.

Analisis keekonomian dilakukan untuk pengadaan fasilitas biogas pada skenario yang meliputi pemilahan sampah dari sumber sebesar 70%, pengomposan, AD, dan *landfilling*. Diagram alir dan neraca massa sampah disajikan pada Gambar 1

Pemilihan skenario diatas dilakukan untuk analisis keekonomian, didasarkan pada hal berikut:

1. Jumlah sampah yang dipilah dan sampah yang diolah dengan pengomposan dan AD lebih besar, sehingga sampah yang diolah dengan *landfill* banyak berkurang.
2. Semakin banyak sampah yang diolah, maka semakin banyak pula produk yang dihasilkan (kompos, gas, maupun *digestate*)

Analisis keekonomian yang dilakukan meliputi analisis kelayakan dan analisis sensitivitas pada perubahan harga produk yang dijual serta harga faktor produksi. Proyek ini diasumsikan sebagai proyek publik atau proyek pemerintah. Suryaningrat dan Bagus (2009) menyatakan bahwa kelayak-

**TABEL 3.** Rincian biaya operasi dan pemeliharaan (OnM).

No.	Item	Jumlah	Satuan	Harga satuan	Harga
1	Biaya pemeliharaan	2	Kali	150.000.000,00	300.000.000,00
2	Gaji tenaga kerja	1	Tahun	1.648.800.000,00	1.648.800.000,00
3	Air	20,1	Megaliter	50,00	1.005.745.000,00
4	Solar	30,6	Kiloliter	9.400,00	287.585.480,00
5	Biaya administrasi	1	Tahun	100.000.000,00	100.000.000,00
6	Biaya asuransi	2	Bangunan	100.000.000,00	200.000.000,00
<b>Total</b>					<b>3.578.130.480,00</b>

an proyek publik tidak selalu diukur dengan keuntungan, sehingga analisis kelayakan dilakukan dengan membandingkan nilai manfaat dan biaya atau *benefit cost ratio* (BCR). Meskipun demikian, kriteria kelayakan berupa *Net Present Value* (NPV) dan *Internal Rate Return* (IRR) pun turut dianalisis. Diperlukan biaya investasi, biaya operasional dan pemeliharaan (OnM), dan biaya manfaat (*benefit/keuntungan*), sebelum melakukan analisis kelayakan. Proyek diasumsikan akan berjalan 20 tahun ke depan dengan asumsi suku bunga sebesar 15%.

**2.2.1 Biaya investasi dan biaya operasional dan pemeliharaan (OnM)**

Biaya investasi yakni biaya yang dikeluarkan di awal proyek untuk menyediakan fasilitas dan berbagai persiapannya. Dalam karya ilmiah ini, biaya investasi mencakup:

1. Biaya pra-pembangunan.
2. Biaya pengadaan reaktor biogas dari *pre-treatment* hingga konversi menjadi listrik.
3. Biaya instalasi.
4. Biaya uji coba.

Biaya investasi berjumlah relatif besar dan berperan dalam kesinambungan proyek (M. Giatman 2006).

Biaya Operasional dan Pemeliharaan (*Operation and Maintenance/OnM*) yaitu biaya yang dikeluarkan untuk mengoperasikan instalasi yang diskenariokan. Biaya OnM dianggarkan untuk:

1. Biaya pemeliharaan alat.
2. Gaji tenaga kerja.
3. Biaya pembelian faktor produksi.
4. Biaya administrasi.
5. Biaya Asuransi

Penentuan biaya untuk sistem biogas mengacu pada Modul Pembiayaan Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (Otoritas Jasa Keuangan (OJK) Indonesia 2016).

**TABEL 4.** Rincian biaya manfaat.

No.	Item	Jumlah	Satuan	Harga satuan	Harga
1	Penjualan <i>digestate</i> per tahun	2.751.920,08	kg	2.000,00	5.518.961.345,42
2	Penjualan kompos per tahun	2.240.130,88	kg	2.000,00	4.480.261.760,00
3	Penjualan listrik per tahun	2.251.489,31	kWh	1.900,00	4.277.829.689,00
4	Penghematan listrik per tahun	250.165,48	kWh	1.352,00	338.223.728,96
<b>Total</b>					<b>14.615.276.523,38</b>

**2.2.2 Biaya manfaat**

Manfaat akan diperoleh karena adanya aktivitas pengolahan sampah. M. Giatman (2006) menyatakan bahwa manfaat dapat berupa produk, jasa, maupun kemudahan. Biaya manfaat dalam penelitian ini diperoleh dari penjualan produk yang bernilai ekonomis dari hasil pengolahan sampah menjadi kompos dari proses pengomposan maupun residu biogas dan penjualan listrik hasil konversi dari biogas. Selain itu, biaya manfaat diperoleh dari penghematan, yang berupa penghematan penggunaan listrik per tahun dari penggunaan listrik yang diproduksi sendiri.

**2.2.3 Depresiasi**

Depresiasi merupakan penurunan nilai aset yang disebabkan oleh waktu dan aktivitas pemakaian Suryaningrat dan Bagus (2009). Depresiasi menunjukkan biaya yang diperlukan untuk melakukan penggantian aset, menunjukkan biaya yang dibebankan pada biaya produksi atau jasa, serta berperan dalam penentuan besaran pajak M. Giatman (2006). Depresiasi dihitung dengan metode penyusutan garis lurus (*straight line depreciation*). Depresiasi dihitung menggunakan Persamaan 1:

$$\text{Depresiasi per tahun} = \frac{1}{N}(I - S) \tag{1}$$

Keterangan: I adalah investasi; S adalah nilai sisa aset; dan N adalah umur ekonomis aset.

**2.2.4 Penentuan produk yang bernilai ekonomis dari pengolahan sampah**

Sampah pada skenario alternatif 3 diolah dengan cara *landfill*, pengomposan, dan AD. Bahan yang diolah dengan kompos adalah sampah kebun (dedaunan). Massa sampah yang diolah dengan kompos yakni sebesar 71,79 ton setiap minggu. *Anaerobic digestion* digunakan untuk mengolah sampah makanan. Jumlah sampah yang diolah menggunakan AD setiap minggu yaitu sebesar 267,43 ton atau 38,20 ton per hari. Se-

**TABEL 5.** Arus kas (cash flow) selama 20 tahun proyek.

Thn	Cash out	Cash in	Net cash flow	FD (%)	PW cash out	PW cash in	NPV	Cumulative cash flow
0	32.896.795.420,00	0,00	-32.896.795.420,00	1,00	32.896.795.420,00	0,00	-32.896.795.420,00	-32.896.795.420,00
1	3.578.130.480,00	14.615.276.523,38	11.037.146.043,38	1,15	3.111.417.808,70	12.708.936.107,29	9.597.518.298,59	-23.299.277.121,41
2	3.578.130.480,00	14.615.276.523,38	11.037.146.043,38	1,32	2.705.580.703,21	11.051.248.788,95	8.345.668.085,73	-14.953.609.035,68
3	3.578.130.480,00	14.615.276.523,38	11.037.146.043,38	1,52	2.352.678.872,36	9.609.781.555,60	7.257.102.683,24	-7.696.506.352,43
4	3.578.130.480,00	14.615.276.523,38	11.037.146.043,38	1,75	2.045.807.715,10	8.356.331.787,48	6.310.524.072,39	-1.385.982.280,05
5	3.578.130.480,00	14.615.276.523,38	11.037.146.043,38	2,01	1.778.963.230,52	7.266.375.467,38	5.487.412.236,86	4.101.429.956,81
6	3.578.130.480,00	14.615.276.523,38	11.037.146.043,38	2,31	1.546.924.548,28	6.318.587.362,94	4.771.662.814,66	8.873.092.771,47
7	3.578.130.480,00	14.615.276.523,38	11.037.146.043,38	2,66	1.345.151.781,11	5.494.423.793,86	4.149.272.012,75	13.022.364.784,22
8	3.578.130.480,00	14.615.276.523,38	11.037.146.043,38	3,06	1.169.697.200,97	4.777.759.820,75	3.608.062.619,78	16.630.427.404,00
9	3.578.130.480,00	14.615.276.523,38	11.037.146.043,38	3,52	1.017.128.000,84	4.154.573.757,17	3.137.445.756,33	19.767.873.160,33
10	8.767.853.316,00	14.615.276.523,38	5.847.423.207,38	4,05	2.167.279.245,24	3.612.672.832,32	1.445.393.587,09	21.213.266.747,42
11	3.578.130.480,00	14.615.276.523,38	11.037.146.043,38	4,65	769.094.896,66	3.141.454.636,80	2.372.359.740,14	23.585.626.487,55
12	3.578.130.480,00	14.615.276.523,38	11.037.146.043,38	5,35	668.778.171,01	2.731.699.684,18	2.062.921.513,16	25.648.548.000,71
13	3.578.130.480,00	14.615.276.523,38	11.037.146.043,38	6,15	581.546.235,66	2.375.391.029,72	1.793.844.794,05	27.442.392.794,77
14	3.578.130.480,00	14.615.276.523,38	11.037.146.043,38	7,08	505.692.378,84	2.065.557.417,15	1.559.865.038,31	29.002.257.833,08
15	3.676.835.064,00	14.615.276.523,38	10.938.441.459,38	8,14	451.862.752,38	1.796.136.884,47	1.344.274.132,10	30.346.531.965,18
16	3.578.130.480,00	14.615.276.523,38	11.037.146.043,38	9,36	382.376.089,86	1.561.858.160,41	1.179.482.070,55	31.526.014.035,73
17	3.578.130.480,00	14.615.276.523,38	11.037.146.043,38	10,76	332.500.947,70	1.358.137.530,79	1.025.636.583,09	32.551.650.618,82
18	3.578.130.480,00	14.615.276.523,38	11.037.146.043,38	12,38	289.131.258,87	1.180.989.157,21	891.857.898,34	33.443.508.517,16
19	3.578.130.480,00	14.615.276.523,38	11.037.146.043,38	14,23	251.418.485,98	1.026.947.093,23	775.528.607,25	34.219.037.124,41
20	3.578.130.480,00	14.615.276.523,38	11.037.146.043,38	16,37	218.624.770,41	892.997.472,37	674.372.701,96	34.893.409.826,37

Keterangan:  
 PW = Present worth (nilai saat ini)  
 FD = Faktor diskonto

mentara sampah yang diolah dengan *landfill* yakni sebesar 285,78 ton per minggu. Produk yang memiliki nilai ekonomis dari hasil pengolahan sampah di atas yakni kompos, gas, dan *digestate* sebagai residu dari proses AD. Gas selanjutnya di-konversi menjadi listrik. Produk berupa kompos selanjutnya dijual kepada petani atau warga sekitar TPA, sementara lis-trik dijual ke PLN dan sebagian kecilnya dimanfaatkan sendiri.

**2.2.5 Perhitungan massa kompos dan penjualannya**

Jumlah kompos yang terbentuk dapat diketahui dengan Per-samaan 2:

$$M_{K2} = 60\% \times M_{K1} \tag{2}$$

Keterangan:  $M_{K1}$  adalah massa awal kompos;  $M_{K2}$  adalah massa kompos matang; 60% adalah presentase kompos se-telah mengalami penyusutan (Yulianto dkk. 2009)

Kompos matang diasumsikan menyusut 40% dari mas-sa awal bahan yang dikomposkan, dengan kata lain kompos yang terbentuk adalah 60% dari massa awal bahan. Menurut Yulianto dkk. (2009), bahan yang dikomposkan dapat menyusu-t sekitar 30-50% di akhir masa dekomposisi. Kompos yang dihasilkan selama satu tahun perlu diketahui untuk menda-patkan informasi keuntungan penjualan. Massa kompos da-lam satu tahun diperoleh dengan mengalikan massa kompos

matang dengan jumlah minggu dalam satu tahun (1 tahun= 52 minggu).

Harga jual kompos di pasaran sangat bervariasi, dengan harga terendah sebesar Rp2.500,00 per kg (*marketplace* To-kopedia; 8 November 2021). Harga kompos pada penelitian ini ditetapkan sebesar Rp2.000,00, dengan pertimbangan pu-puk hanya dijual untuk masyarakat di kalangan lokasi peneli-tian, selain itu, belum ada kajian lebih lanjut mengenai nutri-si dalam pupuk. Sebagai kompensasinya, harga jual pupuk di-terapkan lebih rendah. Penjualan kompos tahunan dapat di-hitung dengan Persamaan 3:

$$\text{Penjualan} = \text{massa kompos yang dijual} \times \text{Rp}2.000,00 \tag{3}$$

**2.2.6 Perhitungan volume biogas**

Perhitungan volume biogas diawali dengan menghitung massa *volatile solid* (VS) yang terdapat dalam bahan. Kan-dungan VS pada sampah makanan sebesar 26,35% dari mas-sa sampah (Zhang dkk. 2007). Setelah massa sampah dalam VS diketahui, selanjutnya dapat menghitung estimasi pro-duksi biogas dengan Persamaan 4 dan 5:

$$\text{Massa Sampah dalam ton VS} = \text{massa sampah} \times 26,35\% \tag{4}$$

$$\text{Estimasi volume biogas (per hari)} = \text{Msd} \times \text{Vb} \times \text{fe} \tag{5}$$

Keterangan : Msd adalah massa sampah yang diperoleh per-hari; Vb adalah volume biogas per ton VS; fe adalah faktor efsi-siensi digester sebesar 80%.

Volume biogas yang dihasilkan per ton VS adalah sebe-sar 591 m<sup>3</sup>/ton VS mengacu pada Xu dkk. (2015), sementara itu faktor efisiensi digester diperoleh dari spesifikasi diges-ter yang digunakan.

**TABEL 6.** Sensitivitas BCR terhadap perubahan harga.

Perubahan Harga	Produk			Faktor produksi	
	Digestate (Rp)	Kompos (Rp)	Listrik (Rp)	Air (Rp)	Solar (Rp)
-30%	1,43	1,47	1,47	1,67	1,63
-20%	1,49	1,52	1,52	1,65	1,63
-10%	1,56	1,57	1,57	1,63	1,62
10%	1,62	1,62	1,62	1,62	1,62
20%	1,68	1,67	1,66	1,60	1,61
30%	1,74	1,72	1,71	1,58	1,61

TABEL 7. Sensitivitas NPV terhadap perubahan harga.

Perubahan Harga	Produk			Faktor produksi		
	Digestate (Rp)	Kompos (Rp)	Listrik (Rp)	Air (Rp)	Solar (Rp)	
-30%	24.529.907.290,88	26.480.376.792,91	26.860.503.622,90	36.781.997.226,28	35.433.437.680,28	
-20%	27.984.408.136,05	29.284.721.137,41	29.538.139.024,07	36.152.468.092,98	35.253.428.395,64	
-10%	31.438.908.981,22	32.089.065.481,90	32.215.774.425,23	35.522.938.959,68	35.073.419.111,01	
10%	34.893.409.826,37	34.893.409.826,37	34.893.409.826,37	34.893.409.826,37	34.893.409.826,37	
20%	38.347.910.671,56	37.697.754.170,88	37.571.045.227,55	34.263.880.693,07	34.713.400.541,74	
30%	41.802.411.516,73	40.502.098.515,37	40.248.680.628,71	33.634.351.559,76	34.533.391.257,10	

2.2.7 Konversi biogas menjadi listrik dan penjualannya

Biogas yang dihasilkan kemudian akan dikonversi menjadi energi listrik untuk dijual ke PLN. Volume biogas yang dihasilkan per jam perlu diketahui terlebih dahulu, kemudian dihitung listrik yang dapat terbentuk per jamnya. Persentase gas metana yang terkandung dalam biogas diasumsikan sebesar 55%. *Calorific value* metana yang digunakan sebesar 10 kWh/m<sup>3</sup> mengacu pada Basic Data on Biogas. Volume biogas yang dihasilkan per jam dan estimasi kapasitas pembangkit listrik dapat dihitung dengan Persamaan 6 dan 7

$$Vbh = \frac{\text{Volume biogas per hari}}{n} \tag{6}$$

Keterangan: Vbh adalah volume biogas yang dihasilkan per hari (M<sup>3</sup>) dan n adalah waktu dalam sehari (24 jam).

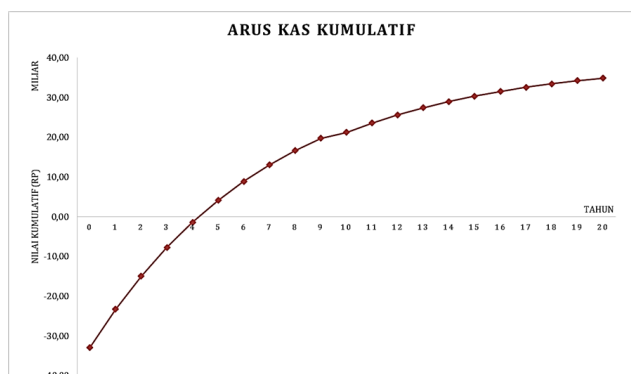
$$Ec = CH_4 \times Vbh \times \text{calorific value } CH_4 \times ef \tag{7}$$

Keterangan : Ec adalah estimasi kapasitas pembangkit listrik (MW); CH<sup>4</sup> adalah presentase gas metana dalam biogas (%); Vbh adalah volume biogas yang dihasilkan per jam (m<sup>3</sup>); ef adalah efisiensi gas *engine* sebesar 36% diperoleh dari spesifikasi gas *engine*. Produksi listrik dapat dihitung dengan Persamaan 8 :

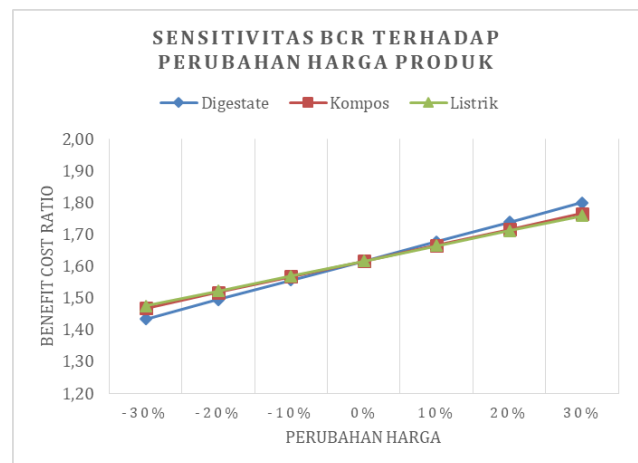
$$\text{Produksi listrik tahunan} = Ec \times fc \times 8760 \text{jam/tahun} \tag{8}$$

Keterangan : Ec adalah estimasi kapasitas pembangkit listrik (MW); fc adalah faktor kapasitas mesin pertahun sebesar 80%

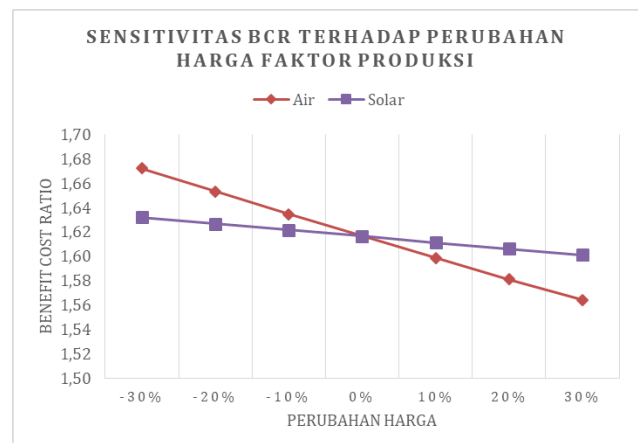
Listrik yang dihasilkan juga digunakan untuk memenuhi kebutuhan sendiri sebesar 10%. Kelebihan listrik dijual ke PLN dengan harga beli oleh PLN ditentukan Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indone-



GAMBAR 2. Aliran kas kumulatif.



(a)



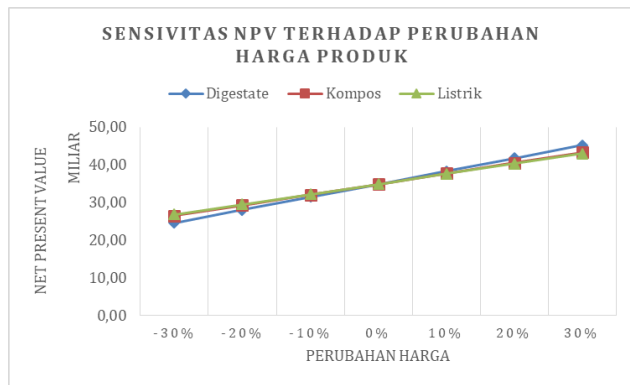
(b)

GAMBAR 3. Sensitivitas BCR terhadap. (a) perubahan harga produk; (b) perubahan harga faktor produksi.

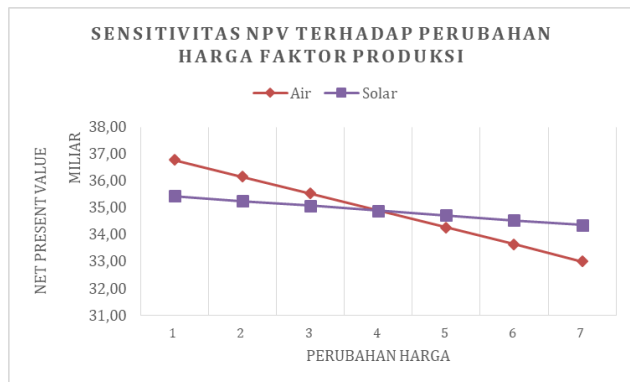
sia No. 21 Tahun 2016 tentang Pembelian Tenaga Listrik dari Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa dan Pembangkit Listrik tenaga Biogas oleh PT Perusahaan Listrik Negara (Persero). Pembelian kelebihan listrik oleh PT PLN ditentukan oleh tiga hal berikut: kapasitas pembangkit listrik; tegangan jaringan tenaga listrik PT PLN; dan wilayah pembangkit listrik. Penjualan listrik tahunan dapat dihitung dengan Persamaan 9:

$$\text{Penjualan} = 90\% \times \text{produksi listrik tahunan} \times \text{harga beli oleh PLN per kWh} \tag{9}$$

Sedangkan listrik yang digunakan sendiri akan memberikan sebuah penghematan. Penghematan diperoleh dengan mengalikan listrik yang digunakan sendiri (kWh) dengan ta-



(a)



(b)

GAMBAR 4. Sensitivitas NPV terhadap. (a) perubahan harga produk; (b) perubahan harga faktor produksi.

rif tenaga listrik yang ditetapkan oleh PT PLN yaitu sebesar Rp1.352,00, yang tertera pada Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 28 Tahun 2016 tentang Tarif Tenaga Listrik yang Disediakan oleh PT Perusahaan Listrik Negara (Persero). Besarnya penghematan dapat dihitung dengan Persamaan 10:

$$\text{Penghematan listrik} = \text{listrik yang digunakan} \times \text{tarif listrik PLN} \quad (10)$$

### 2.2.8 Estimasi produk *digestate* dan penjualannya

*Digestate* merupakan residu proses AD. *Digestate* merupakan substrat yang telah terdekomposisi, yang mengandung nitrogen, fosfor, kalium, dan mikronutrien sehingga dapat digunakan sebagai kompos. *Digestate* yang terbentuk dapat dihitung dengan Persamaan 11:

$$\text{Massa } \textit{digestate} = \text{residu yang terbentuk per ton VS} \times \text{massa limbah (ton VS)} \quad (11)$$

TABEL 8. Sensitivitas IRR terhadap perubahan harga.

Perubahan Harga	Produk			Faktor Produksi	
	Digestate (Rp)	Kompos (Rp)	Listrik (Rp)	Air (Rp)	Solar (Rp)
-30%	30,85%	31,54%	29,50%	34,55%	34,21%
-20%	32,05%	32,46%	31,16%	34,40%	34,17%
-10%	33,11%	33,30%	31,90%	34,24%	34,12%
10%	34,07%	34,07%	34,07%	34,07%	34,07%
20%	34,93%	34,78%	34,75%	33,90%	34,02%
30%	36,81%	38,13%	3,52%	33,73%	33,98%

Residu yang terbentuk per ton VS diacu dari Xu dkk. (2015), sebesar 751 kg/ton VS. Sama halnya dengan pupuk dari pengomposan, harga jual *digestate* ditetapkan sebesar Rp2.000,00 per kg. Penjualan *digestate* tahunan dapat dihitung dengan Persamaan 12:

$$\text{Penjualan} = \text{massa } \textit{digestate} \text{ yang dijual} \times \text{Rp.2.000,00} \quad (12)$$

### 2.2.9 Analisis *benefit cost ratio* (BCR)

Analisis BCR dilakukan dengan membagi biaya manfaat dengan biaya yang dikeluarkan pada waktu saat ini. Investasi dikatakan layak apabila nilai BCR  $\geq 1$ , sedangkan investasi dianggap tidak layak dilakukan apabila nilai BCR  $< 1$  (M. Giatman 2006). Nilai BCR dapat dihitung dengan Persamaan 13:

$$\text{BCR} = \frac{\text{PV benefit}}{\text{PV cost}} \quad (13)$$

Keterangan: PV benefit adalah keuntungan saat dalam nilai saat ini; PV cost adalah biaya yang dikeluarkan dalam nilai saat ini. Nilai uang di masa depan dapat diubah menjadi bentuk nilai sekarang (*present worth*), dikarenakan nilai uang berubah seiring dengan berjalannya waktu. Hal ini dikenal dengan konsep nilai uang terhadap waktu (*time value of money*) (Suryaningrat dan Bagus 2009). Pengubahan nilai uang dari nilai masa depan menjadi nilai sekarang dapat dilakukan dengan Persamaan 14 (M. Giatman 2006):

$$P = F \frac{1}{(1+i)^2} \quad (14)$$

Keterangan: P adalah nilai uang sekarang (*present worth*); F adalah nilai uang masa depan (*future worth*); i adalah suku bunga (*interest rate*).

### 2.2.10 Analisis *net present value* (NPV)

Nilai bersih dari biaya manfaat pada waktu sekarang dapat diketahui dengan metode NPV. Nilai NPV diperoleh dengan mengurangi biaya yang dikeluarkan dengan biaya manfaat yang diperoleh, keduanya dalam bentuk nilai masa sekarang (*present worth*). Kriteria kelayakan investasi menggunakan NPV yakni, apabila NPV  $> 0$  artinya investasi layak dilakukan, begitu pula sebaliknya (M. Giatman 2006). Nilai NPV dapat dihitung menggunakan Persamaan 15:

$$\text{NPV} = \text{PV benefit} - \text{PV cost} \quad (15)$$

Keterangan: PV *benefit* adalah keuntungan dalam nilai saat ini; PV *cost* adalah biaya yang dikeluarkan dalam nilai saat ini. Pengubahan nilai *benefit* dan *cost* menjadi saat ini dapat dilakukan menggunakan Persamaan 14.

### 2.2.11 Analisis *internal rate return* (IRR)

*Internal rate of return* merupakan tingkat bunga yang menyebabkan keseimbangan antara *benefit* dan *cost* sehingga terbentuk NPV sebesar 0 (Suryaningrat dan Bagus 2009). Apabila nilai IRR  $\geq$  nilai tingkat bunga yang ditetapkan, maka investasi dinyatakan layak (M. Giatman 2006). Dalam menghitung nilai IRR, diperlukan NPV yang bernilai positif dan NPV yang bernilai negatif, sehingga metode *trial and error* dapat dilakukan (Suryaningrat dan Bagus 2009). Nilai IRR dapat di-

hitung dengan Persamaan 16:

$$IRR = i_1 + \frac{NPV_1}{NPV_1 - NPV_2(i_2 - i_1)} \quad (16)$$

Keterangan :  $i_1$  tingkat bunga yang menghasilkan NPV positif (%);  $i_2$  tingkat bunga yang menghasilkan NPV negatif (%);  $NPV_1$  adalah NPV bernilai positif;  $NPV_2$  adalah NPV bernilai negatif.

### 2.2.12 Analisis sensitivitas

Analisis sensitivitas dilakukan untuk mengantisipasi hal di luar kendali usaha, misalnya bila terjadi kenaikan harga bahan baku (Hidayati dkk. 2019). Analisis sensitivitas dalam penelitian ini dilakukan pada perubahan harga faktor produksi berupa air dan solar, dan harga jual ketiga produk, kompos, *digestate*, dan listrik. Kemudian BCR, NPV, dan IRR dengan perubahan harga tertentu diamati.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

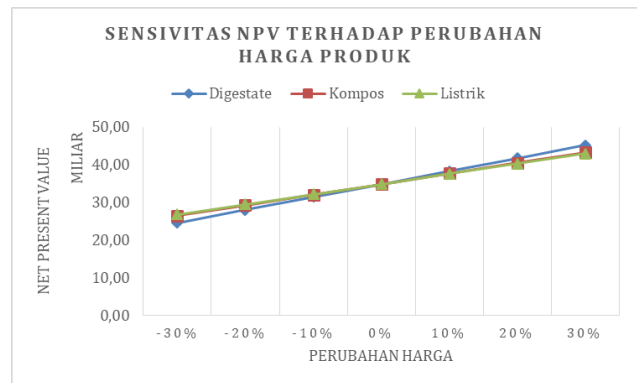
Analisis kelayakan ekonomi dilakukan pada BCR dengan menyediakan biaya investasi, biaya OnM, dan biaya manfaat (pendapatan). Rincian biaya-biaya tersebut ditampilkan seperti pada Tabel 2, 3 dan 4. *Total cost* dari pembangunan fasilitas biogas sebesar Rp 32.896.795.420,00. *Total cost* atau biaya total merupakan gabungan dari biaya investasi, biaya operasional dan pemeliharaan atau OnM, yang disajikan pada Tabel 2 dan Tabel 3. Proyek diasumsikan berlangsung selama 20 tahun. Hal ini selaras dengan Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 21 Tahun 2016 tentang Pembelian Tenaga Listrik dari Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa dan Pembangkit Listrik tenaga Biogas oleh PT Perusahaan Listrik Negara (Persero), Pasal 5, yang menyatakan bahwa perjanjian jual beli listrik (PJLB) berlaku untuk jangka waktu 20 tahun, yang selanjutnya dapat diperpanjang.

Biaya depresiasi sistem biogas ini sebesar Rp823.170.189,00. Menurut M. Giatman (2006) depresiasi memiliki beberapa fungsi berikut ini :

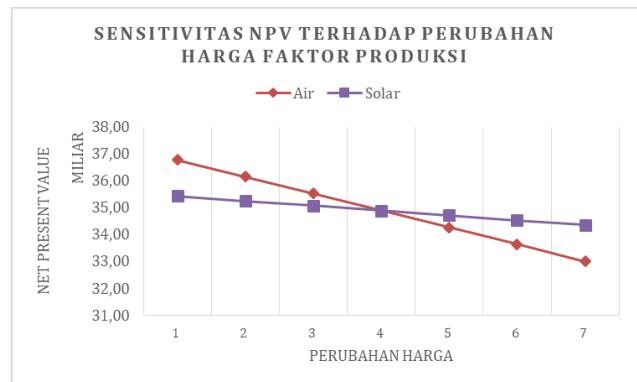
1. Menunjukkan biaya yang diperlukan untuk melakukan penggantian aset.
2. Menunjukkan biaya yang dibebankan pada biaya produksi atau jasa.
3. Nerperan dalam penentuan besaran pajak.

Biaya depresiasi dalam penelitian ini tidak disertakan dalam penghitungan pajak, karena proyek diasumsikan tidak dikenakan pajak. Hal ini mengacu pada Direktorat Jenderal Pajak (2013), bahwa badan yang pembiayaannya bersumber dari APBN atau APBD, dan penerimaannya dimasukkan dalam anggaran pemerintah pusat atau pemerintah daerah, tidak dikenakan pajak. Depresiasi akan berpengaruh pada arus kas (*cashflow*) apabila terdapat pajak yang dikenakan pada proyek. Namun, biaya depresiasi tetap digunakan sebagai penentu besaran biaya yang diperlukan untuk mengganti aset ketika umur ekonomis aset telah habis, terutama untuk aset-aset yang berusia 10 dan 15 tahun.

Biaya manfaat yang diperoleh dari pengolahan sampah disajikan pada Tabel 4. Biaya manfaat diperoleh dari penjualan *digestate*, kompos, dan penjualan listrik. Kompos dan *digestate* keduanya merupakan pupuk, hanya saja berbeda dari



(a)



(b)

GAMBAR 5. Sensitivitas IRR terhadap. (a) perubahan harga produk; (b) perubahan harga faktor produksi.

segi pengolahan. Biaya manfaat dihitung menggunakan Persamaan 2–12. Total biaya manfaat yang diperoleh dalam satu tahun adalah sebesar Rp14.615.276.523,38.

Analisis kelayakan investasi dilakukan pada tiga kriteria kelayakan, yaitu BCR, NPV, dan IRR. Ketiganya akan menunjukkan hasil yang konsisten dan memberikan rekomendasi yang sama terkait kelayakan sebuah investasi. Namun, masing-masing memberi informasi spesifik yang berbeda (M. Giatman 2006). Berdasarkan penghitungan menggunakan Persamaan 13–16, BCR, NPV, dan IRR menunjukkan nilai sebesar 1,62, Rp 34.893.409.826,37, dan 34,07% secara berturut-turut. Nilai BCR yang diperoleh menunjukkan bahwa proyek layak dilakukan, karena  $BCR \geq 1$ . Seperti diketahui, nilai  $BCR \geq 1$  menunjukkan bahwa investasi layak dilakukan (M. Giatman 2006). Sebagaimana BCR, nilai NPV dan IRR yang diperoleh juga menunjukkan kelayakan proyek, sesuai dengan kriteria  $NPV > 0$  dan  $IRR \geq 0$  (M. Giatman 2006).

Pada Tabel 5 menunjukkan nilai arus kas selama proyek dioperasikan. Aliran kas terjadi ketika ada uang masuk dan uang keluar (Suryaningrat dan Bagus 2009). Kas yang terakumulasi di akhir tahun proyek adalah sebesar Rp34.893.409.826,37. Hingga tahun ke-4, arus kas menunjukkan nilai negatif, namun tahun berikutnya menunjukkan nilai positif. Tahun ke-10 dan -15 menunjukkan adanya penurunan net *cash flow*. Hal ini terjadi karena adanya tambahan biaya yang dikeluarkan untuk penggantian aset yang memiliki umur ekonomis 10 dan 15 tahun, seperti pencacah, pompa, *scrubber*, *gas holder* dan aset lain dengan umur ekonomis yang sama. Biaya yang harus dikeluarkan untuk penggantian aset dapat diketahui dengan bantuan penghitungan biaya depresiasi. Biaya yang dikeluarkan pada tahun ke-



10 dan ke-15 masing-masing sebesar Rp5.189.722.836,00 dan Rp98.704.584,00.

Nilai sisa dari proyek ini tidak disertakan dalam *cash flow*. Nilai sisa adalah nilai yang masih dapat diperoleh dari penjualan aset yang tidak digunakan lagi setelah umur ekonomisnya habis sehingga nilai sisa dapat menambah biaya manfaat. Pengabaian nilai sisa dikarenakan pada proyek pemerintah, aset tidak dimaksudkan untuk dijual di akhir umur ekonomisnya, sehingga nilai sisa ini diabaikan (Komite Standar Akuntansi Pemerintahan 2007).

Nilai saat ini dari arus kas merupakan nilai yang telah dikonversi menggunakan faktor diskonto, dengan nilai suku bunga yang telah ditentukan, 15%. Grafik arus kas kumulatif dapat terlihat seperti Gambar 2

Analisis sensitivitas dilakukan untuk mengantisipasi hal di luar kendali usaha (Hidayati dkk. 2019). Faktor yang tidak pasti, seperti harga jual maupun harga beli, pada umumnya dipilih untuk dilakukan analisis sensitivitas (Zhang dan Xu 2020). Perubahan harga meliputi penurunan harga sebesar 30% hingga kenaikan harga sebesar 30% (-30%, -20%, -10, 10%, 20%, dan 30%). Penurunan harga ditunjukkan dengan tanda negatif (-).

Perubahan harga tidak memengaruhi BCR menjadi tidak layak. Nilai BCR dengan adanya perubahan harga faktor produksi diperoleh antara 1,58 hingga 1,67 (Tabel 6). Kenaikan harga jual produk menambah keuntungan yang diperoleh, dengan demikian BCR meningkat. Peningkatan harga sebesar 30% pada harga jual *digestate* memberikan nilai BCR tertinggi, 1,74. Meskipun harga jual *digestate* dan kompos sama, namun kuantitas *digestate* yang dijual lebih banyak dari pada kompos, sehingga BCR yang dihasilkan berbeda. Grafik sensitivitas BCR terhadap perubahan harga disajikan pada Gambar 3.

Nilai NPV dan IRR konsisten dengan nilai BCR yang menunjukkan kelayakan proyek. Tabel 7 menunjukkan sensitivitas NPV terhadap perubahan harga. Semua nilai NPV berada lebih besar dari 0. *Net present value* menggambarkan keuntungan bersih yang diperoleh. Grafik sensitivitas NPV terhadap perubahan harga tersedia pada Gambar 4.

Keseluruhan nilai IRR diperoleh melebihi suku bunga yang ditetapkan, 15%. Peningkatan harga pada faktor produksi tidak menyebabkan IRR lebih rendah dari pada suku bunga yang ditetapkan, sehingga proyek layak dilakukan pada perubahan harga -30% hingga 30% Tabel 8. Grafik sensitivitas IRR terhadap perubahan harga disajikan pada Gambar 5.

Hidayati dkk. (2019) melaporkan analisis sensitivitas pada perubahan harga bahan faktor produksi biogas berbahan baku limbah agroindustri. Asumsi kenaikan harga yang digunakan yaitu 10%, 20%, 22%, dan 23%. Kenaikan tertinggi menyebabkan penurunan pada NPV, penurunan IRR, penurunan BCR, dan menyebabkan *payback period* semakin lama. Penurunan harga 10% dan 20% memperbaiki kelayakan yang diperoleh. Kenaikan harga jual listrik dalam penelitian ini sejalan dengan kenaikan harga listrik pada biogas dari PO-ME Sugiyono dkk. (2019). Kenaikan harga listrik sebesar 5% mampu mempersingkat *payback period*, dari 7,95 menjadi 7,43 tahun, dan meningkatkan NPV dari Rp1.103.209.098,00 menjadi Rp3.242.966.653,00.

Analisis keekonomian pada pembangkit listrik tenaga biogas di Gamping, Yogyakarta menunjukkan nilai yang me-

madai. Nilai BCR yang diperoleh menunjukkan skor Grade III dalam analisis keberlanjutan, atau BCR antara 1,01-2,01 (Marendra dkk. 2019).

Pemanfaatan sampah makanan (*foodwaste*) sebagai bahan biogas merupakan proyek yang menguntungkan, baik secara ekonomi maupun lingkungan. Sampah makanan terbukti menghasilkan biogas yang lebih banyak di akhir masa fermentasi, dibanding kotoran sapi, sampah daun, dan sampah daging atau ikan. Sampah nasi sisa menunjukkan produksi gas metana tertinggi di antara sampah makanan lain yang diamati. Setelah nasi sisa, produksi gas yang tinggi dihasilkan oleh limbah kurma, kacang-kacangan, sayur dan buah, roti sisa, dan limbah makanan campur. Hal ini disebabkan karena kandungan karbohidrat pada limbah-limbah tersebut mudah terdegradasi dibanding protein dan lipid.

Marendra dkk. (2018) melakukan analisis perbandingan dampak lingkungan pada empat sistem biogas dan satu sistem pirolisis berbasis limbah organik yang meliputi *Biogas Plant Gamping* (BPG), *Suazhou biogas model* (SBM), *integrated system anaerobic digestion and pyrolysis* (ISADP), *Opatokun anaerobic digestion model* (OADM), dan *Opatokun pyrolysis model* (OPM). Kelima sistem yang diamati menunjukkan dampak GWP yang relatif besar terhadap lingkungan. Meskipun begitu, dibandingkan dengan *landfill*, GWP yang dihasilkan lebih rendah. Relevan dengan penelitian yang dilakukan Cremiato dkk. (2018) pengelolaan sampah dengan metode AD menunjukkan dampak lingkungan yang kecil, terutama pada pemanasan global. Selain mengurangi dampak lingkungan, AD memiliki keunggulan dari pengolahan sampah lain, karena dengan menggunakan AD dapat mengurangi sampah untuk diolah dengan cara *landfill*, AD dapat menghasilkan energi (Cremiato dkk. 2018). Zhang dan Xu (2020) melakukan analisis keekonomian pada pembangkit listrik tenaga biogas di China. Pada penelitian pendahuluannya, biaya manfaat diperoleh dari pendapatan penjualan listrik dan pupuk dari pengolahan limbah. Kemudian, biaya manfaatnya ditambah dengan biaya dari monetisasi reduksi pencemaran udara, reduksi emisi gas rumah kaca, reduksi polusi perairan, dan reduksi polusi lahan. Adanya penghitungan biaya manfaat yang lebih detail meningkatkan indikator kelayakan yang digunakan, *payback period*, NPV, dan IRR.

#### 4. KESIMPULAN

Analisis keekonomian yang dilakukan meliputi analisis kelayakan dan analisis sensitivitas. *Benefit cost ratio* (BCR), *net present value* (NPV) dan *internal rate return* (IRR) dipilih sebagai indikator kelayakan. Nilai BCR, NPV, dan IRR diperoleh sebesar 1,62, Rp 34.893.409.826,37, dan 34,07% secara berturut-turut. Hasil analisis kelayakan menunjukkan bahwa proyek ini layak dilakukan. Analisis sensitivitas dengan perubahan harga dari -30% hingga 30% tidak mengubah analisis menjadi tidak layak. Meskipun ditetapkan penurunan harga jual produk dan peningkatan harga faktor produksi, proyek tetap layak untuk dilaksanakan.

#### 5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis ucapkan kepada Dinas Lingkungan Hidup (DLH) dan Dinas Perumahan Rakyat dan Kawasan Pemukiman (Dinas PRKP) Kabupaten Tuban atas pe-

nyediaan informasi dan data-data yang diperlukan pada penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Baldasano JM, Soriano C. 2000. Emission of greenhouse gases from anaerobic digestion processes: Comparison with other msw. (May 2014). doi:10.2166/wst.2000.0081.
- Baumann H, Tillman AM. 2004. The Hitch Hiker's Guide to LCA: An orientation in life cycle assessment methodology and application. The Hitch Hikers's Guide to LCA: An Orientation in Life Cycle Assessment Methodology and Application. Professional Publishing House. <https://www.semanticscholar.org/paper/The-hitch-hiker%27s-guide-to-LCA-%3A-an-orientation-in-Baumann-Tillman/9996e26b6b642d12ac1206ad7975ff127b3014ec>.
- Cremiato R, Mastellone ML, Tagliaferri C, Zaccariello L, Lettieri P. 2018. Environmental impact of municipal solid waste management using life cycle assessment: the effect of anaerobic digestion, materials recovery and secondary fuels production. *Renewable Energy*. 124:180–188. doi:10.1016/j.renene.2017.06.033.
- Dinas Lingkungan Hidup. 2018. Dokumen hasil survey laju timbulan sampah, srt dan ssrt, komposisi, serta potensi daur ulang di Kabupaten Tuban.
- Direktorat Jenderal Pajak. 2013. PPh: Pajak penghasilan. <https://www.kemenkeu.go.id/sites/default/files/bukuphpuplo.pdf>.
- Duarsa ABS. 2008. Dampak pemanasan global terhadap risiko terjadinya malaria. *Jurnal Kesehatan Masyarakat Andalas*. 2(2):181. doi:10.24893/jkma.2.2.181-185.2008.
- Hidayati S, Utomo TP, Suroso E, Maktub ZA. 2019. Analisis potensi dan kelayakan finansial pada agroindustri biogas menggunakan covered lagoon anaerobic reactor termodifikasi. *Industria: Jurnal Teknologi dan Manajemen Agroindustri*. 8(3):218–226. doi:10.21776/ub.industria.2019.008.03.6.
- Intergovernmental Panel of Climate Change. 2006. Guidelines for national greenhouse gas inventories. 5(December):1–6. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol5.html>.
- Kaspersen BS, Christensen TB, Fredenslund AM, Møller HB, Butts MB, Jensen NH, Kjaer T. 2016. Linking climate change mitigation and coastal eutrophication management through biogas technology: Evidence from a new Danish bioenergy concept. *Science of The Total Environment*. 541:1124–1131. doi:10.1016/j.scitotenv.2015.10.015.
- Komite Standar Akuntansi Pemerintahan. 2007. Buletin teknis standar akuntansi pemerintahan nomor 05 tentang akuntansi penyusutan. <http://www.ksap.org/Buletin/BULTEK05.pdf>.
- Lippmann R, Babben S, Menger A, Delker C, Quint M. 2019. Development of wild and cultivated plants under global warming conditions. *Current Biology*. 29(24):R1326–R1338. doi:10.1016/j.cub.2019.10.016.
- M Giatman. 2006. Ekonomi teknik. Jakarta: RajaGrafindo Persada. <http://kin.perpusnas.go.id/DisplayData.aspx?pid=30195&pRegionCode=JIUNMAL&pClientId=111>.
- Marendra F, Prasetya A, Cahyono RB, Ariyanto T. 2019. A Sustainability assessment of biogas plant based on fruit waste in Indonesia: Case study of Biogas Plant Gamping, Yogyakarta. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 543(1):012059. doi:10.1088/1757-899X/543/1/012059.
- Marendra F, Rahmada A, Prasetya A, Cahyono RB, Ariyanto T. 2018. Kajian dampak lingkungan pada sistem produksi listrik dari limbah buah menggunakan life cycle assessment. *Jurnal Rekayasa Proses*. 12(2):27. doi:10.22146/jrekpros.36425.
- Otoritas Jasa Keuangan (OJK) Indonesia. 2016. Pembiayaan pembangkit listrik tenaga biogas. Usaid. <https://drive.esdm.go.id/wl/?id=eg1o8magXjOMxBfkJdAxSrU6pEu5ugRw&mode=list&download=1%0A>.
- Saleem W, Zulfiqar A, Tahir M, Asif F, Yaqub G. 2016. Latest technologies of municipal solid waste management in developed and developing countries: A review. *International Journal of Advanced Science and Research*. 1(September):22–29. <http://www.allsciencejournal.com/download/85/1-9-18-466.pdf>.
- Setiawan F, Muttaqin A, Tarigan S, Muhidin M, Hotmariyah M, Sabil A, Pinkan J. 2017. Pemutihan karang akibat pemanasan global tahun 2016 terhadap ekosistem terumbu karang: Studi kasus di twp gili matra (gili air, gili meno dan gili trawangan) provinsi NTB. *JFMR-Journal of Fisheries and Marine Research*. 1(2):39–54. doi:10.21776/ub.jfmr.2017.001.02.1.
- Sharma A, Laudari R, Rijal K, Adhikari L. 2019. Role of biogas in climate change mitigation and adaptation. *Journal of Forest and Natural Resource Management*. 1(1):25–31. doi:10.3126/jfnrm.v1i1.22649.
- Stranddorf HK, Hoffmann L, Schmidt A. 2005. LCA technical report: Impact categories, normalization and weighting in LCA. Update on selected EDIP97-data. (xxx):1–292. <https://lca-center.dk/wp-content/uploads/2015/08/LCA-technical-report-impact-categories-normalisation-and-weighting-in-LCA.pdf>.
- Sugiyono A, Adiarso A, Puspita Dewi RE, Yudiartono Y, Wijono A, Larasati N. 2019. Analisis keekonomian pembangunan pembangkit listrik tenaga biogas dari pome dengan continuous stirred tank reactor (CSTR). *Majalah Ilmiah Pengkajian Industri*. 13(1):75–84. doi:10.29122/mipi.v13i1.3232.
- Suryaningrat, Bagus I. 2009. Ekonomi teknik: teori dan aplikasi untuk agroindustri. volume 3.
- Ula RA, Prasetya A, Haryanto I. 2021. Life cycle assessment (LCA) pengelolaan sampah di tpa Gunung Panggung kabupaten Tuban, Jawa Timur. *Jurnal Teknologi Lingkungan*. 22(2):147–161. doi:10.29122/jtl.v22i2.4690.
- Wilkie AC. 2005. Anaerobic digestion: Biology and benefits. *Dairy Manure Management: Treatment, Handling, and Community Relations*:63–72. <https://biogas.ifas.ufl.edu/Pubs/NRAES176-p63-72-Mar2005.pdf>.
- Xu C, Shi W, Hong J, Zhang F, Chen W. 2015. Life cycle assessment of food waste-based biogas generation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 49:169–177. doi:10.1016/j.rser.2015.04.164.
- Yulianto AB, Ariesta A, Anggoro DP, Heryadi H, Bahrudin M, Santoso G. 2009. Buku pedoman pengolahan sampah terpadu: konversi sampah pasar menjadi kompos berkualitas tinggi. *Pengolahan Sampah Terpadu*:1–64.
- Zhang C, Xu Y. 2020. Economic analysis of large-scale farm biogas power generation system considering environmen-

tal benefits based on LCA: A case study in China. *Journal of Cleaner Production*. 258:120985. doi:[10.1016/j.jclepro.2020.120985](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120985).

Zhang R, Elmashad H, Hartman K, Wang F, Liu G, Choate C,

Gamble P. 2007. Characterization of food waste as feedstock for anaerobic digestion. *Bioresource Technology*. 98(4):929–935. doi:[10.1016/j.biortech.2006.02.039](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.02.039).