



AGROINDUSTRIAL TECHNOLOGY JOURNAL

ISSN : 2599-0799 (print) ISSN : 2598-9480 (online)

Accredited SINTA 3: No.225/E/KPT/2022

**KAJIAN ANALISIS MANFAAT DAN BIAYA PENERAPAN PENGOMPOSAN DAN
THERMAL DECOMPOSITION UNTUK PENGELOLAAN SAMPAH ORGANIK**

*A study of benefit and cost analysis of the composting and thermal decomposition
for organic waste management*

Raden Arief Firmansyah^{1*}, Khoirul Hidayat²

^{1,2}Teknologi Industri Pertanian, Jurusan Ilmu dan Teknologi Pertanian, Fakultas Pertanian,
Universitas Trunojoyo Madura, Bangkalan, Indonesia

^{*}Email korespondensi: arief.firmansyah@trunojoyo.ac.id

Info artikel: Diterima 10 Desember 2022, Diperbaiki 19 Desember 2022,
Disetujui 07 Februari 2023

ABSTRACT

Awareness of Indonesian people about waste management is low, specifically in organic waste management. Organic waste management is relatively easy. On the other hand, open dumping and open burning are always choices by the community or person. These techniques are not sustainable actions, for the environment, even for living things. Waste could be managed sustainably, i.e., composting and thermal decomposition (pyrolysis). Composting produces organic fertilizer that is saleable and profitable. Thermal decomposition (pyrolysis) potentially have three product, bio-oil, bio-char, and syngas. These products are marketable and promising too. This research aims to study the potential application of composting and thermal decomposition technology on a small-neighborhood scale based on cost-benefit analysis. The study used benefit-cost analysis. Data is collected by literature study, from national and internasional journal, law product and government policies. This study was occupied to one of the urban village in Pamekasan Sub-district, Pamekasan Regency. The study resulted that composting required more area than pyrolysis. It is a constraint criteria to consider applying composting method in Tempat Pengolahan Sampah Reduce, Reuse, Recycle (TPS 3R). Sosial cost green house gas (GHG) was the biggest component that contributed to total cost about 95.56%. Meanwhile, in total benefit, benefit sale of product solid waste treatment was the biggest at 80.80%. Pyrolysis was more feasible than composting based on Benefit Cost Ratio (BCR) value. The composting duration was the limitation factor that affect BCR value negative (less than 1). It indicated to sustainability running, TPS 3R should be subsidize on investment and operational cost. To achieve maximal benefit, composting should applied in household level. Sharing responsibilities between household level and TPS 3R management about percentage of processing organic waste should be implemented. It could level out household participation on solid waste management.

Keywords: *organic waste; waste management; composting; pyrolysis; cost-benefit analysis;*

ABSTRAK

Kesadaran masyarakat Indonesia tentang pengelolaan sampah masih rendah, khususnya pengelolaan sampah organik. Sebaliknya, pengelolaan sampah organik mudah. Namun, *open dumping*

dan pembakaran sampah selalu jadi pilihan dalam pengelolaan sampah individu atau masyarakat. Cara pengelolaan tersebut buruk bagi lingkungan dan mahluk hidup. Sampah dapat dikelola dengan baik melalui pengomposan dan *thermal decomposition*. Pengomposan menghasilkan pupuk organik yang bernilai ekonomis dan menguntungkan. Thermal decomposition berpotensi menghasilkan tiga produk, yaitu bio-oil, biochar dan *syngas*. Produk tersebut juga bernilai ekonomis dan menguntungkan. Penelitian ini bertujuan mengkaji potensi penerapan teknologi pengomposan dan thermal decomposition pada tingkat kelurahan berdasarkan analisis biaya dan manfaat. Seluruh data dikumpulkan dari studi literatur yang bersumber dari jurnal nasional dan internasional, produk hukum dan kebijakan pemerintah. Kajian pada penelitian ini menggunakan studi kasus salah satu kelurahan di Kecamatan Pamekasan, Kabupaten Pamekasan. Hasil kajian menyatakan bahwa teknologi pengomposan dengan aerator bambu membutuhkan lebih banyak area dibandingkan pirolisis. Hal tersebut menjadi faktor penghambat penerapan metode pengomposan di Tempat Pengolahan Sampah *Reduce, Reuse, Recycle* (TPS 3R). Biaya sosial gas rumah kaca adalah komponen yang terbesar berkontribusi terhadap total biaya sebesar 95.56%, sedangkan pada total manfaat, manfaat penjual produk pengolahan sampah adalah yang terbesar, yaitu 80.80%. Hasil analisis biaya dan manfaat, nilai *Benefit Cost Ratio* (BCR) dari pirolisis memberikan manfaat secara ekonomi dan lingkungan dibandingkan pengomposan. Lama pengomposan adalah faktor pembatas yang menyebabkan nilai BCR negatif. Nilai tersebut mengindikasikan bahwa, agar proses bisnis TPS 3R berjalan baik perlu disubsidi biaya investasi dan operasional. Pengomposan dapat mencapai maksimal benefitnya bila diterapkan pada tingkat rumah tangga. Pembagian peran antara rumah tangga dan manajemen TPS 3R tentang rasio sampah organik yang dikelola perlu diterapkan. Kebijakan tersebut dapat meningkatkan partisipasi rumah tangga pada pengelolaan sampah.

Kata kunci: sampah organik; pengelolaan sampah; pengomposan; pirolisis; analisis biaya manfaat.

INTRODUCTION

Sampah menjadi salah satu masalah utama bagi kota yang sedang berkembang (Abdel-Shafy & Mansour, 2018). Jelas bahwa peningkatan jumlah penduduk berkorelasi dengan jumlah timbunan sampah. Persoalan menjadi semakin rumit ketika kesadaran masyarakat terhadap pengelolaan sampah rendah (Meidiana & Gamse, 2010). Praktik pengelolaan sampah yang umum dilakukan masyarakat adalah mengumpulkan sampah dengan sistem terbuka (*open dumping*) atau membakar sampah tersebut (Wahyudi dkk., 2019), baik sampah organik dan anorganik. Kedua cara tersebut termasuk dalam pengelolaan sampah yang tidak berkelanjutan karena akibat dari pengelolaan

tersebut yang membahayakan bagi manusia dan lingkungan (Wahyudi dkk., 2019).

Berdasarkan UU No 18 Tahun 2008 tentang pengelolaan sampah bahwa sejak tahun 2013 setiap pemerintah daerah wajib untuk menutup Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) sampah yang masih menerapkan sistem pembuangan terbuka. Oleh karena itu, pengelolaan sampah yang tepat menjadi penting. Pengelolaan sampah, khususnya sampah organik dapat dikategorikan sebagai pengelolaan sampah yang mudah. Fakta pengelolaan sampah yang mudah tersebut tidak menjadi daya tarik bagi masyarakat untuk mengelola sampah organiknya sendiri. Praktik pengelolaan sampah masih

berlangsung dalam sistem kumpul – angkut – buang (Widyarsana & Zafira, 2015).

Metode pengelolaan sampah organik yang mudah adalah pengomposan dan *thermal decomposition* (Muyassir dkk., 2021). selain mudah, produk olahan sampah dari pengomposan dapat menjadi pupuk. Bahkan metode *thermal decomposition* dapat menghasilkan varian produk olahan sampah yang beragam, yaitu bio-oil, biochar dan *syngas*. Kedua jenis pengelolaan sampah tersebut sama-sama memiliki nilai jual dan manfaat yang tinggi.

Berdasarkan potensi nilai ekonomi dan manfaat tersebut, penelitian ini bertujuan mengkaji nilai manfaat dan biaya penerapan metode pengomposan dan *thermal decomposition* untuk pengelolaan sampah organik menggunakan analisis manfaat dan biaya. Kajian ini menggunakan studi kasus pengelolaan sampah di salah satu kelurahan di Kecamatan Pamekasan, Kabupaten Pamekasan.

Analisis biaya dan manfaat merupakan salah satu pendekatan yang dapat digunakan untuk mengkaji kelayakan investasi atau membuat keputusan (Boardman dkk., 2018). Berikut penelitian sejenis yang mengkaji pengelolaan atau pengolahan sampah menggunakan metode analisis biaya dan manfaat. C. Liu dkk., (2020) menyimpulkan dari analisis biaya dan manfaat terhadap proses daur ulang modul fotofoltaik bahwa faktor penjualan dari komponen daur ulang

fotofoltaik dan pajak berpengaruh terhadap nilai kelayakan (*benefit cost ratio*) rencana proses daur ulang ini. Djukic dkk., (2016) mengkaji penerapan pembangunan pengolahan limbah terhadap setiap proyek infrastruktur di Serbia berdampak positif terhadap kelayakan ekonomi dan bermanfaat bagi lingkungan. Babalola, (2020) mengkaji berdasarkan analisis biaya dan manfaat, pengelolaan sampah makanan dan sampah biodegradable dengan anaerobic digestion adalah metode pengelolaan sampah yang paling tepat. Phelia & Sinia, (2021) menyimpulkan dari analisis biaya dan manfaat, bahwa pengelolaan sampah yang dioperasikan dengan fasilitas Tempat Pengolahan Sampah *Reduce, Reuse, Recycle* (TPS 3R) layak secara ekonomi, dengan nilai $BCR > 1$.

Berdasarkan kajian literatur di atas, analisis biaya dan manfaat umum digunakan untuk pengambilan keputusan, khususnya pada kebijakan pengelolaan sampah. Sementara itu, kajian terhadap analisis biaya dan manfaat penerapan teknologi pengomposan dan *thermal decomposition* untuk skala kelurahan belum pernah dilaporkan sebelumnya. Oleh karena itu, kajian terhadap kasus ini menjadi krusial.

MATERIALS AND METHODS

Metode penelitian memodifikasi tahapan penelitian Owade et al., (2022) dan

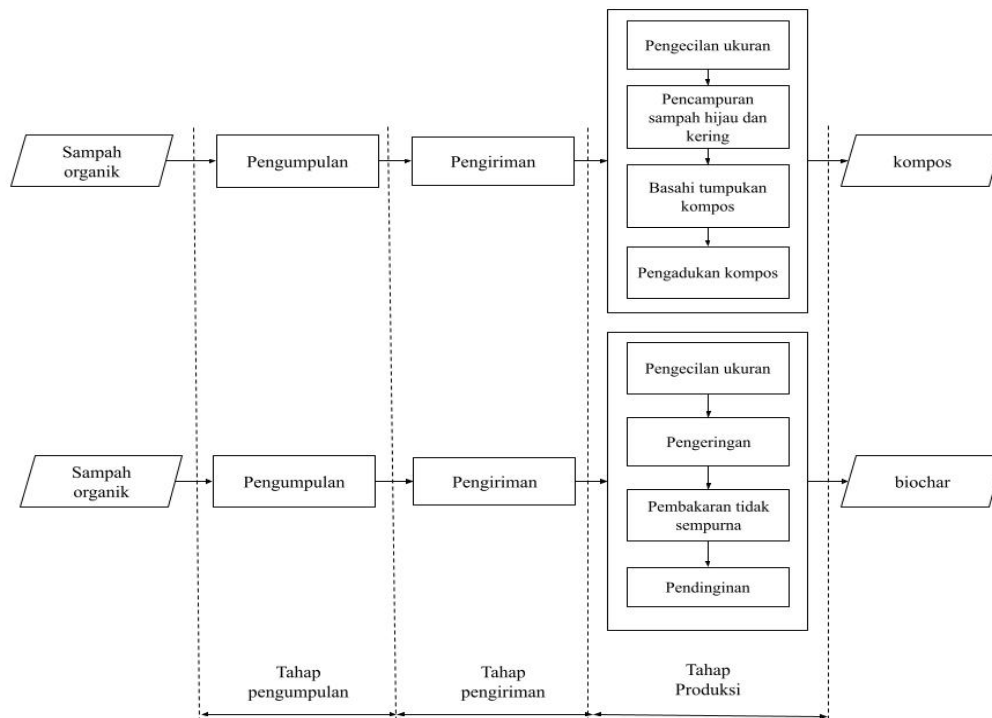
Boardman et al., (2018). Setiap tahapan dijelaskan sebagai berikut.

a. Definisi dan penentuan tujuan

Tujuan dari penelitian ini untuk mendapatkan metode pengolahan sampah organik yang biayanya minimum dan memberikan manfaat yang maksimal baik dari segi ekonomi dan lingkungan. Definisi terhadap manfaat segi ekonomi tentang potensi nilai ekonomi yang didapatkan melalui pengolahan sampah organik. Manfaat segi lingkungan didefinisikan sebagai manfaat yang diperoleh dari pengolahan sampah organik bagi kelestarian sumber daya hayati. Analisis biaya dan manfaat terdefinisi untuk skala rukun warga. Sampah organik dalam penelitian didasarkan atas (Zorpas dkk., 2018) yang tersusun atas sampah taman (daun kering), hijauan (rumpun), buah, sayuran dan sisa makanan.

b. Identifikasi dan klasifikasi alternatif dan kriteria

Alternatif yang ditawarkan dalam pengolahan sampah organik adalah pengomposan dan thermal decomposition. Setiap proses produksi untuk pengomposan dan thermal decomposition ditunjukkan pada Gambar 1. Berdasarkan, diagram alir proses pada **Error! Reference source not found.**, alur proses produksi dibagi menjadi tiga tahap, yaitu tahap pengumpulan, tahap pengiriman dan tahap produksi. Tahap pengumpulan meliputi kegiatan pengumpulan sampah organik dari rumah tangga. Tahap pengiriman meliputi kegiatan pengiriman dari tempat penampungan sementara ke lokasi pengolahan sampah.



Gambar 1 Diagram alir proses pengolahan sampah dengan dua alternatif pengolahan

c. Analisis biaya dan manfaat

Seluruh komponen biaya untuk perhitungan analisis biaya dan manfaat didapatkan dari studi literatur yang bersumber dari jurnal, jurnal nasional dan internasional, produk hukum dan kebijakan pemerintah. Seluruh komponen analisis biaya dijumlah begitu juga komponen analisis manfaat. Total setiap analisis biaya dan manfaat dibandingkan untuk menilai *Benefit Cost Ratio* (BCR)(Phelia & Damanhuri, 2019). Nilai BCR dikategorikan, jika $BCR \leq 1$ maka investasi tidak layak, jika $BCR \geq 1$ maka investasi layak. Analisis sensitifitas diaplikasikan pada hasil perhitungan *Net Present Value* (NPV) untuk mendapatkan parameter kritis yang mempengaruhi perubahan NPV.

d. Pengumpulan data

Lingkup ruang pada penelitian ini hanya mencakup kelurahan Barurambat Kota, Kecamatan Pamekasan, Kabupaten Pamekasan. Jumlah penduduk adalah 5894 jiwa, menempati urutan keempat dari 18 kelurahan. Kelurahan ini belum memiliki TPS 3R mandiri, pengelolaan sampah dikirim ke TPS 3R kelurahan terdekat, salah satunya TPS 3R Lestari kelurahan juncangcang yang berjarak 2.4 km dari alun – alun kabupaten Pamekasan. Total sampah masuk yang dikelola sejumlah 555.17 ton/tahun pada 2021. Penggunaan data dalam penyusunan analisis biaya dan manfaat disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 Kode Parameter dan formula yang digunakan dalam analisis biaya dan manfaat

Parameter	Variabel/Formulasi	Parameter	Variabel/Formulasi
Jarak per ritasi (km)	a	Timbunan sampah (ton/hari)	m
Jumlah ritasi (shift)	b	Kapasitas mesin cacah	o
Harga gerobak motor	cc	Harga mesin cacah	p
Inflasi per tahun	d	Harga aerator bambu	q
BI rate	e	Harga reaktor self-pyrolisis	r
Gaji operator	f	% pemeliharaan	s
Asuransi kesehatan	g	% pemeliharaan aerator bambu	t
% Pemeliharaan kendaraan	h	kebutuhan opsi teknologi	x
Konsumsi bahan bakar (l/km)	i	Kebutuhan operator	$v = (3+(m-1))$
Harga bahan bakar	j	Kebutuhan mesin cacah	$w = ((u*(1000/6))/o)$
Jumlah kendaraan	k	Biaya operator	$w1=(v*f*1*12)+(g*v*1*12)$
% sampah organik	l	biaya operasional dan pemeliharaan mesin cacah	$w2=(p*1*s)+((u*1000*1*j)/o)$
Biaya investasi kendaraan (5 tahunan)	$n=(cc*k*(1+d)*(1+e))/5$	Total biaya operasioanl (ton)	$w3 = (w1+w2)/(u*365)$
Biaya investasi (ton)	$n1 = n/timbunan\ sampah\ se\ tahun$	Biaya investasi mesin cacah	$w4=(p*w*(1+d)*(1+e))/5$
Biaya operator gerobak (2 orang)	$n2=(f*2*k*12)+(g*2*k*12)$	Biaya investasi opsi teknologi	$w5=(q*x*(1+d)*(1+e))/2$
Biaya pemeliharaan	$n3 = h*cc*k$	Total biaya pemeliharaan	$w6=(w4+w5)/(u*365)$
Biaya bahan bakar	$n4 = a*b*i*j*k*365$	Total biaya pengolahan sampah	$w7=w6+w3$
Total biaya operasional	$n5 = n2+n3+n4$	Faktor emisi CH4	aa
Biaya pengumpulan	$n6 = n5+n1$	Faktor emisi CO2	ac
Biaya sosial CH4	ab	Biaya sosial CO2	ad
Total biaya sosial CH4	$u*365*aa*ac$	Total biaya sosial CO2	$u*365*ac*ad$
Faktor emisi kendaraan	ae	Total biaya sosial CO2 kendaraan	$k*ae*i*a*6*365*1000*$
Rendemen pengomposan	af	Rendeman pirolisis	ag
Harga jual produk	ah	Durasi pengomposan	aj
Durasi pirolisis	ak	Manfaat penjualan produk olahan sampah	$((af ag*u*(365/aj ak)*1000)/5)*ah$
Peningkatan hasil kompos biochar	al am	Dosis optimal kompos biochar	an ao
Produktivitas padi	aq	Harga GKP	ar
Manfaat pengurangan CH4 CO2	$af ag*u*(365/aj ak)*a*a*ab ad$	Manfaat produk pada produktivitas	$aq*((af*u*(365/aj))/an)+(aq*((af*u*(365/aj))/an)*al)*1000*ar$

Nilai parameter dalam bentuk nominal uang yang disajikan pada Tabel 2 didapatkan dari informasi upah minimum regional kabupaten Pamekasan, penelusuran harga di *e-commerce* dan ketetapan nilai yang

dikeluarkan pemerintah direntang tahun 2021 – 2022.

Tabel 2 Nilai yang digunakan dalam analisis biaya dan manfaat

Kode Paramater	Nilai	Kode Paramater	Nilai
a	4.8	aa	0.5
b	1	ab	Rp750,00
cc	Rp45,000,00	ac	0.4
d	4.69%	ad	Rp30,000
e	4.25%	ae	2597.86
f	Rp1,939,000	af	61.50%
g	Rp19,390	ag	41%
h	5.00%	ah	Rp10,000
i	0.08	ai	Rp8,500
j	Rp10,000	aj	30
k	8	ak	2
m	1.521	al	2.82%
o	150.00	am	10.73%
p	Rp31,280,00	an	12
q	Rp200,000	ao	20
rr	Rp5,000,000	ap	Rp1,640
s	10.00%	aq	6.33%
t	5.00%	ar	Rp4,865
u	0.91		

RESULTS AND DISCUSSION

a. Rancangan kebutuhan teknologi pengolahan sampah

Jenis teknologi yang diadopsi untuk pengolahan sampah organik pada TPS 3R adalah Pengomposan dengan metode pengolahan secara aerob dan *thermal decomposition*. Pengolahan secara aerob dipilih karena metode pengolahan yang paling mudah dioperasikan (Suharno dkk., 2021) dan produk hasil olahannya memiliki

harga yang kompetitif (Muyassir dkk., 2021). Pengolahan sampah organik dilakukan secara aerob dengan metode aerator bambu. Aerator bambu dirancang berbentuk segitiga dengan rancangan dimensi disesuaikan dengan kebutuhan volum sampah organik. *Thermal decomposition* dalam bentuk pirolisis merupakan metode pengolahan sampah organik yang digunakan dalam kajian ini. Pirolisis merupakan proses pembakaran dengan kondisi minim oksigen (Iskandar & Rofiatin, 2017). Luaran dari pirolisis ini hanya berupa biochar. Pirolisis yang digunakan menggunakan tehnik *self-pirolisis* dimana proporsi kecil dari sampah organik yang diolah digunakan sebagai sumber panas (Ding & Jiang, 2013). Perhitungan kebutuhan teknologi disajikan pada Tabel 3.

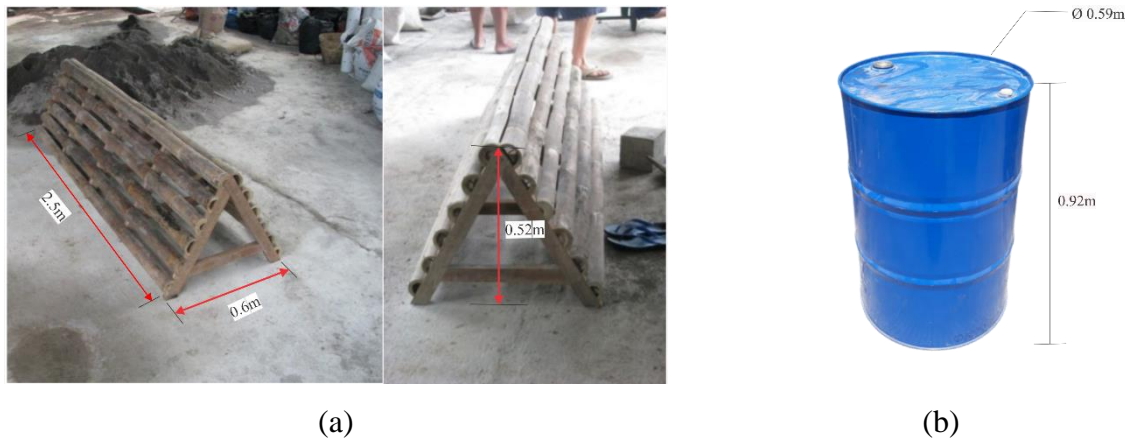
Tabel 3 Perhitungan kebutuhan aerator bambu dan reaktor pirolisis

Kebutuhan aerator bambu	
Sampah organik (ton/hari)	0.91
Densitas sampah (ton/m ³) (Phelia & Sinia, 2021)	0.42
Volume sampah (m ³) selama 30 hari	65.19
Volume setiap aerator (Lawa dkk., 2021)	8.61
Kebutuhan aerator (unit)	8
Luas area 1 unit aerator (m ²)	12.25
Luas kebutuhan (m ²)	98
Kebutuhan reaktor pirolisis	
Volum reaktor (liter)	200
Kapasitas sampah 1 reaktor (ton)	0.084
Kebutuhan reaktor	11

Luas area 1 unit reaktor (m ²)	0.27
Luas kebutuhan (m ²)	5.39

Aerator bambu tampak samping berbentuk trapesium dengan dimensi panjang 2.5m; lebar 0.6m dan tinggi 0.52m. Sedangkan ukuran timbunan kompos pada aerator bambu tersebut memiliki panjang 2.5m; lebar bawah 3m; lebar atas 1.8m; tinggi 1.5m. Reaktor pirolisis berbentuk silinder dengan dimensi diameter 0.59m dan tinggi 0.92m. Reaktor pirolisis dibangun dari modifikasi drum besi ukuran 200 liter. Gambar 2 mengilustrasikan bentuk dan dimensi dari aerator bambu dan drum pirolisis yang digunakan untuk analisis biaya dan manfaat. Berdasarkan perbandingan luas kebutuhan total, aerator bambu

membutuhkan cakupan area yang lebih besar dibandingkan reaktor pirolisis. Nilai tersebut merupakan nilai minimal kebutuhan, yang telah mempertimbangkan jarak antar unit aerator atau reaktor pirolisis. Untuk aerator bambu ruang antar unit berjarak 0.25m kanan kiri dan ruang perimeter untuk reaktor pirolisis 0.2m. Berdasarkan PermenPU No 3 Tahun 2013 luas minimal TPS 3R adalah 200m² dengan 50% luas ditujukan untuk area pengomposan. Penggunaan aerator bambu berpotensi untuk melebihi cakupan 50% luas minimal pengomposan TPS 3R dibandingkan dengan penggunaan reaktor pirolisis, bila kapasitas sampah terolah semakin besar.



Gambar 2 Ilustrasi dan dimensi (a) aerator bambu (Kementerian PUPR, 2017) , (b) drum pirolisis (tokopedia.com)

b. Analisis biaya dan manfaat

Pada Tabel 4 disajikan hasil analisis biaya dan manfaat. Total biaya adalah jumlah dari biaya pengumpulan-transportasi, biaya pengolahan dan biaya sosial dari efek gas rumah kaca. Total manfaat adalah jumlah dari manfaat penjualan produk olahan

sampah, manfaat pengurangan efek gas rumah kaca dan manfaat produk hasil olahan sampah. Biaya sosial gas rumah kaca berkontribusi terbesar terhadap total biaya, 99.09%. Pada komponen manfaat, biaya manfaat dari pengurangan gas rumah kaca berkontribusi 16.14% dan 18.39% untuk

pengomposan dan pirolisis. Komponen terbesar yang berkontribusi pada total manfaat adalah manfaat penjualan produk olahan sampah organik, berupa pupuk kompos dan biochar.

Komponen biaya sosial dan manfaat gas rumah kaca termasuk dalam perhitungan total biaya dan manfaat untuk menunjukkan kontribusi dari kegiatan pengolahan sampah organik. Bila sampah organik tidak

dimanfaatkan menimbulkan tambahan biaya tidak langsung dalam bentuk emisi terhadap biaya pengelolaan sampah yang tidak dimanfaatkan. Melalui kegiatan pengolahan sampah organik, biaya tidak langsung dapat diimbangi dengan manfaat penurunan gas rumah kaca melalui pengolahan sampah yang baik.

Tabel 4 Hasil hitung analisis biaya dan manfaat

	Kompos		Pirolisis	
Biaya pengumpulan (per ton)	Rp871,452	0.67%	Rp871,452	0.67%
total biaya pengolahan 3R (per ton)	Rp315,136	0.24%	Rp410,633	0.31%
total Social cost CH4 (per ton)	Rp124,913,250	95.63%	Rp124,913,250	95.56%
total Social cost CO2 (per ton)	Rp4,521,551	3.46%	Rp4,521,551	3.46%
Total Biaya	Rp130,621,389	100.00%	Rp130,716,886	100.00%
Manfaat penjualan produk	Rp29,265,390	82.77%	Rp116,086,047	80.80%
Manfaat pengurangan CH4	Rp5,487,261	15.52%	Rp25,607,216	17.82%
Manfaat pengurangan CO2	Rp219,490	0.62%	Rp819,431	0.57%
Manfaat Produk	Rp386,107	1.09%	Rp1,164,268	0.81%
Total Manfaat	Rp35,358,248	100.00%	Rp143,676,962	100.00%
Benefit cost ratio	0.27		1.10	

Dari analisis biaya dan manfaat, nilai BCR pirolisis lebih memberikan manfaat baik ekonomi dan lingkungan dibandingkan dengan pengomposan. Hasil tersebut sejalan dengan beberapa penelitian analisis biaya dan manfaat yang menyimpulkan jika nilai BCR lebih dari 1 menguntungkan secara ekonomi dan juga bagi masyarakat (Babalola, 2020; Djukic dkk., 2016; Sarwar dkk., 2007). Nilai BCR 1.1 pada hasil analisis ini termasuk nilai minimal bagi proses bisnis untuk berjalan dengan baik (J. Liu dkk., 2018). Nilai BCR

dari pengelolaan sampah dengan pengomposan kurang dari 1, mengindikasikan bahwa pengelolaan sampah dengan cara tersebut masih dapat dilakukan namun tidak menguntungkan. Upaya pemberian subsidi untuk biaya investasi dan operasional perlu dilakukan untuk menjaga keberlanjutan dari proses bisnis pengelolaan sampah dengan cara ini (Phelia & Sinia, 2021).

Bila mengesampingkan komponen biaya dan manfaat dari gas rumah kaca,

penetapan nilai jual per 5kg pupuk kompos, Rp10,000 (Wahana & Intan Savitri, 2019) dan biochar, Rp8,500 (Muyassir dkk., 2021), manfaat dari kedua teknologi pengolahan sampah organik dapat meningkatkan perubahan nilai BCR lebih besar dari 1.

c. Analisis sensitivitas

Berdasarkan nilai BCR, pengolahan sampah dengan pirolis layak untuk diinvestasikan sehingga analisis sensitivitas diaplikasikan pada pengolahan sampah dengan pengomposan. Komponen manfaat penjualan produk adalah komponen analisis manfaat dengan bobot terbesar yang tentunya berkontribusi besar terhadap perhitungan nilai manfaat (C. Liu dkk., 2020). Perhitungan manfaat penjualan produk merupakan fungsi dari rendemen dan durasi pengomposan. Peningkatan durasi pengomposan dari 14 hari menjadi 10 hari berkontribusi terhadap peningkatan NPV (*Net Present Value*) 19.92% dan penurunan durasi pengomposan menjadi 30 hari berkontribusi terhadap penurunan NPV 12.66%. Perubahan nilai rendemen antara -10% s.d 10% dengan durasi pengomposan yang tetap berpengaruh kurang dari 10% terhadap peningkatan ataupun penurunan NPV. Durasi pengomposan merupakan faktor krusial dalam pengolahan sampah dengan teknologi pengomposan (Zhou, 2017). Penelitian dengan tujuan mempersingkat durasi pengomposan telah dilakukan oleh (Zaman dkk., 2022)

menggunakan komposter berbantu panas yang dapat menghasilkan kompos dalam sehari. Xin dkk., (2023) mengembangkan sistem *biodrying-enhanced composting* (BEC) yang dapat menghasilkan kompos dengan nilai *germination index* dan *humification index* tinggi dalam 10 hari.

Berdasarkan hasil analisis sensitivitas, pengolahan sampah menggunakan teknologi pengomposan dapat menguntungkan bila diterapkan pada tingkat rumah tangga (Papadopoulos dkk., 2009) dan juga sampah rumah tangga merupakan salah satu sumber penghasil sampah organik yang besar (Ashlihah dkk., 2020). Oleh karena itu, pada pengelolaan sampah organik perlu disosialisasikan pembagian persentase pengelolaan sampah antara rumah tangga dan TPS 3R. Pembagian peran ini dilakukan melalui kebijakan pengomposan sampah organik untuk skala rumah tangga dan penggunaan teknologi pirolisis di TPS 3R. Pembagian peran ini juga memberi manfaat tidak langsung bagi rumah tangga dan mengurangi beban pengelolaan sampah TPS 3R yang tidak hanya mengelola sampah dari tingkat rumah tangga. Manfaat lainnya melalui pembagian peran ini, masyarakat dilibatkan dalam upaya pengelolaan sampah sehingga diharapkan kesadaran terhadap pengelolaan sampah meningkat. Kebijakan ini adalah yang terbaik untuk bagi pemerintah yang tidak dapat mengupayakan pelayanan pengelolaan sampah yang baik (Meidiana &

Gamse, 2010). Kebijakan pembagian peran dengan masyarakat memberikan keuntungan dalam proses pemberdayaan masyarakat dan merupakan cara untuk mencapai perencanaan dan pengembangan yang berkelanjutan (Shukor dkk., 2011)

CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

Pengolahan sampah dengan pirolisis lebih layak untuk dikembangkan di tingkat TPS 3R sedangkan pengelolaan sampah dengan pengomposan lebih cocok untuk skala rumah tangga. Manfaat penjualan produk adalah komponen yang berkontribusi terbesar pada total nilai manfaat sedangkan biaya sosial gas rumah kaca berkontribusi terbesar pada total nilai biaya. Durasi lama pengomposan adalah faktor penghambat untuk meningkatkan nilai BCR agar layak secara ekonomis. Pembagian peran antara rumah tangga dan TPS 3R adalah upaya untuk meningkatkan kesadaran dan partisipasi masyarakat dalam pengelolaan sampah.

REFERENCES

Abdel-Shafy, H. I., & Mansour, M. S. M. (2018). Solid waste issue: Sources, composition, disposal, recycling, and valorization. Dalam *Egyptian Journal of Petroleum* (Vol. 27, Nomor 4, hlm. 1275–1290). Egyptian Petroleum Research Institute.

<https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2018.07.003>

Ashlihah, A., Saputri, M. M., & Fauzan, A. (2020). Pelatihan Pemanfaatan Limbah Rumah Tangga Organik menjadi Pupuk Kompos. *Jumat: Jurnal Pengabdian Masyarakat Bidang Pertanian*, 1(1), 30–33.

Babalola, M. A. (2020). A benefit-cost analysis of food and biodegradable waste treatment alternatives: The case of Oita City, Japan. *Sustainability (Switzerland)*, 12(5). <https://doi.org/10.3390/su12051916>

Boardman, A. E., Greenberg, D. H., Vining, A. R., & Weimer, D. L. (2018). *Cost-Benefit Analysis: Concepts and Practice* (5th ed.). Cambridge University Press.

Ding, H. S., & Jiang, H. (2013). Self-heating co-pyrolysis of excessive activated sludge with waste biomass: Energy balance and sludge reduction. *Bioresour Technol*, 133, 16–22. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2013.01.090>

Djukic, M., Jovanoski, I., Ivanovic, O. M., Ladic, M., & Bodroza, D. (2016). Cost-benefit analysis of an infrastructure project and a cost-reflective tariff: A case study for investment in wastewater treatment plant in Serbia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59, 1419–1425.

- <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2016.01.050>
- Iskandar, T., & Rofiatin, U. (2017). KARAKTERISTIK BIOCHAR BERDASARKAN JENIS BIOMASSA DAN PARAMETER PROSES PYROLISIS. *Jurnal Teknik Kimia*, 12(1), 28–34.
- Kementerian PUPR. (2017). *PETUNJUK TEKNIS TPS 3R (Tempat Pengolahan Sampah 3R)*. Direktorat Pengembangan PLP .
- Lawa, J. I. J., Mangangka, I. R., & Riogilang, H. (2021). Perencanaan Tempat Pengolahan Sampah (TPS) 3R Di Kecamatan Mapanget Kota Manado. *TEKNO*, 19(78), 77–89.
- Liu, C., Zhang, Q., & Wang, H. (2020). Cost-benefit analysis of waste photovoltaic module recycling in China. *Waste Management*, 118, 491–500. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.08.052>
- Liu, J., Bai, H., Liang, H., Wang, Y., & Xu, H. (2018). How to recycle the small waste household appliances in China? A revenue- expenditure analysis. *Resources, Conservation and Recycling*, 137, 292–301. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2018.06.015>
- Meidiana, C., & Gamse, T. (2010). Development of Waste Management Practices in Indonesia. *European Journal of Scientific Research*, 40(2), 199–210. <http://www.eurojournals.com/ejsr.htm>
- Muyassir, M., Manfarizah, M., Jufri, Y., & Khairani, C. (2021). PEMBUATAN KOMPOS, BIOCHAR DAN MOL UNTUK MENINGKATKAN KESEJAHTERAAN MASYARAKAT DI KECAMATAN INGIN JAYA ACEH BESAR. *Rambideun: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 4(3), 133–144.
- Owade, J. O., Abong', G. O., Okoth, M. W., & Mwang'ombe, A. W. (2022). A benefit-cost analysis approach for determining the optimal processing of micronutrient-enriched cowpea leaf soup mixes. *Frontiers in Food Science and Technology*, 2(874557), 1–14. <https://doi.org/10.3389/frfst.2022.874557>
- Papadopoulos, A. E., Stylianos, M. A., Michalopoulos, C. P., Moustakas, K. G., Hapeshis, K. M., Vogiatzidaki, E. E. I., & Loizidou, M. D. (2009). Performance of a new household composter during in-home testing. *Waste Management*, 29(1), 204–213. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.03.016>
- Phelia, A., & Damanhuri, E. (2019). KAJIAN EVALUASI TPA DAN ANALISIS BIAYA MANFAAT SISTEM PENGELOLAAN SAMPAH

- DI TPA (STUDI KASUS TPA BAKUNG KOTA BANDAR LAMPUNG). *Jurnal Teknik Lingkungan*, 25(2), 85–100.
- Phelia, A., & Sinia, R. O. (2021). Skenario Pengembangan Fasilitas Sistem Pengolahan Sampah Dengan Pendekatan Cost Benefit Analysis Di Kelurahan Kedamaian Kota Bandar Lampung. *Serambi Engineering*, 6(1), 1555–1562.
- Sarwar, G., Hussain, N., Schmeisky, H., & Muhammad, S. (2007). USE OF COMPOST AN ENVIRONMENT FRIENDLY TECHNOLOGY FOR ENHANCING RICE-WHEAT PRODUCTION IN PAKISTAN. *Pakistan Journal of Botany*, 39(5), 1553–1558.
- Shukor, F. S. A., Mohammed, A. H., Sani, S. I. A., & Awang, M. (2011). A REVIEW ON THE SUCCESS FACTORS FOR COMMUNITY PARTICIPATION IN SOLID WASTE MANAGEMENT. *International Conference on Management (ICM 2011) Proceeding*, 963–976.
- Suharno, Wardoyo, S., & Anwar, T. (2021). Perbedaan Penggunaan Komposter An-Aerob dan Aerob Terhadap Laju Proses Pengomposan Sampah Organik. *Poltekita : Jurnal Ilmu Kesehatan*, 15(3), 251–255. <https://doi.org/10.33860/jik.v15i3.527>
- Wahana, S., & Intan Savitri, M. (2019). Harga Pokok Produksi Kompos Potensial Limbah Media Jamur Merang Kampung Padamaran Kecamatan Susukan Kabupaten Cirebon. *Paradigma Agribisnis*, 2(1), 34–42.
- Wahyudi, J., Perencanaan, B., Daerah, P., Pati, K., Raya, J., Km, P.-K., & Tengah, P. 59163 J. (2019). EMISI GAS RUMAH KACA (GRK) DARI PEMBAKARAN TERBUKA SAMPAH RUMAH TANGGA MENGGUNAKAN MODEL IPCC. *Jurnal Litbang*, 15(1), 65–76.
- Widyarsana, I. M. W., & Zafira, A. D. (2015). KAJIAN PENGEMBANGAN SISTEM PENGELOLAAN SAMPAH DI KABUPATEN TANGERANG. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 21(1), 87–97.
- Xin, L., Qin, Y., Lou, T., Xu, X., Wang, H., Mei, Q., & Wu, W. (2023). Rapid start-up and humification of kitchen waste composting by an innovative biodrying-enhanced process. *Chemical Engineering Journal*, 452, 139459. <https://doi.org/10.1016/J.CEJ.2022.139459>
- Zaman, B., Hadiyanti, N., Purwono, & Ramadan, B. S. (2022). An innovative thermal composter to accelerate food waste decomposition at the household level. *Bioresource Technology Reports*, 19, 101203.

<https://doi.org/10.1016/J.BITEB.2022.101203>

Zhou, J. M. (2017). The Effect of Different C/N Ratios on the Composting of Pig Manure and Edible Fungus Residue with Rice Bran. *Compost Science and Utilization*, 25(2), 120–129. <https://doi.org/10.1080/1065657X.2016.1233081>

Zorpas, A. A., Lasaridi, K., Pociovalisteanu, D. M., & Loizia, P. (2018). Monitoring and evaluation of prevention activities regarding household organics waste from insular communities. *Journal of Cleaner Production*, 172, 3567–3577. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.155>