

Kajian Aspek Pengolahan Sampah Padang Menggunakan Metode *Life Cycle Assessment*

Annisa Maryam^{1*}, Slamet Raharjo², Rizki Aziz³

^{1,2,3} Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, 25175, Indonesia

*Corresponding author, e-mail: maryamannisa14@gmail.com

Received 28th Jan 2023; Revised 6th March 2023; Accepted 30th March 2023

DOI: doi.org/10.24036/cived.v10i1.122680

ABSTRAK

Pengelolaan sampah di perkotaan meliputi sektor formal dan sektor informal. Sektor formal pada penelitian ini merupakan bank sampah dan sektor informal yaitu pemulung, lapak, dan bandar. Penilaian terhadap sistem pengelolaan sampah di Kota Padang perlu dilakukan untuk mengetahui apakah program pemerintah menjadi solusi terbaik dalam sistem manajemen sampah atau sektor informal dinilai lebih efisien dalam daur ulang sampah yang ditinjau berdasarkan aspek pengumpulan dan pengolahan, dengan merencanakan 3 skenario pengelolaan sampah yaitu (1) sistem pengelolaan sampah sektor informal (pemulung), (2) sistem pengelolaan sampah dengan bank sampah, (3) sistem manajemen sampah kombinasi antara sektor informal dengan bank sampah. Life Cycle Assessment dianalisis menggunakan SimaPro. hasil pembobotan dari normalisasi penilaian dampak menggunakan metode CML-IA dari software SimaPro, skenario 2 memiliki nilai paling besar yaitu $4,8313 \times 10^{-20}$ dan skenario 3 memiliki nilai yang paling kecil yaitu $4,0930 \times 10^{-20}$. Karakterisasi dampak yang dihasilkan skenario 1, 2 dan 3 untuk nilai Global Warming Potential berturut-turut yaitu $1,6822 \times 10^{-11}$ kg CO₂-eq, $1,9680 \times 10^{-11}$ kg CO₂-eq dan $1,6661 \times 10^{-11}$ kg CO₂-eq; nilai Acidification Potential yaitu $3,7122 \times 10^{-12}$ kg SO₂-eq, $4,3200 \times 10^{-12}$ kg SO₂-eq dan $3,6540 \times 10^{-12}$ kg SO₂-eq; dan nilai Eutrophication Potential yaitu $2,0609 \times 10^{-12}$ kg PO₄³⁻, $2,4391 \times 10^{-12}$ kg PO₄³⁻ dan $2,0690 \times 10^{-12}$ kg PO₄³⁻. Skenario sistem manajemen sampah kombinasi antara sektor informal dengan bank sampah merupakan alternatif terbaik untuk pengelolaan sampah di Kota Padang.

Kata Kunci: Sektor Formal; Sektor Informal; Pengolahan; Penilaian Dampak.

ABSTRACT

Waste management in urban areas includes the formal sector and the informal sector. The formal sector in this study is a waste bank and the informal sector is scavengers, Lapak, and Bandar. An assessment of the waste management system in Padang City needs to be carried out to find out whether government programs are the best solution in the waste management system or whether the informal sector is considered more efficient in waste recycling which is reviewed based on aspects of collection and processing, by planning 3 scenarios of waste management, namely (1) informal sector waste management system (scavengers), (2) waste management system with waste banks, (3) combined waste management system between the informal sector and waste banks. Life Cycle Assessment was analyzed using SimaPro. the results of the weighting of the normalized impact assessment using the CML-IA method from the SimaPro software, scenario 2 has the highest value of 4.8313×10^{-20} and scenario 3 has the smallest value of 4.0930×10^{-20} . Characterization of the impact produced by scenarios 1, 2, and 3 for the Global Warming Potential values respectively 1.6822×10^{-11} kg CO₂-eq, 1.9680×10^{-11} kg CO₂-eq and 1.6661×10^{-11} kg CO₂-eq; Acidification Potential values are

3.7122 x 10⁻¹² kg SO₂-eq, 4.3200 x 10⁻¹² kg SO₂-eq and 3.6540 x 10⁻¹² kg SO₂-eq; and the Eutrophication Potential values were 2.0609 x 10⁻¹² kg PO₄₃-, 2.4391 x 10⁻¹² kg PO₄₃- and 2.0690 x 10⁻¹² kg PO₄₃-. The combination waste management system scenario between the informal sector and the waste bank is the best alternative for waste management in Padang City.

Keywords: Formal Sector; Informal Sector; Processing; Impact Assessment.

Copyright © Annisa Maryam, Slamet Raharjo, Rizki Aziz

This is an open access article under the: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

PENDAHULUAN

Pengeoloaan sampah Kota Padang secara umum terdiri dari sektor formal dan sektor informal. Sektor formal yaitu dengan adanya program bank sampah dan TPS 3R [1]. Bank sampah telah mulai bermunculan di Kota Padang sejak 2011, tetapi pencapaiannya masih relatif rendah [2]. Capaian yang relatif rendah ini karena banyak bank sampah yang tidak aktif melakukan proses daur ulang sampah. Tenaga kerja tetap menjadi permasalahan utama, karena sebagian besar tenaga kerja bekerja secara sukarela.

Sektor informal berkembang dengan cukup efektif terutama pada aktivitas daur ulang yang berkontribusi dalam penghematan sumber daya bahan baku, mengurangi kebutuhan lahan akan TPA, penghematan energi dalam menghasilkan berbagai produk konsumsi, serta menyerap tenaga kerja [3]. Kegiatan daur ulang dapat membuka lapangan kerja baru bagi masyarakat dengan menerapkan prinsip penanganan sampah sebagai barang ekonomi. Pelaku bisnis daur ulang sampah di perkotaan dilakukan oleh sektor informal yaitu pemulung, pengepul/lapak, pemasok/bandar dan industri daur ulang sampah [4].

Tujuan dari penelitian ini yaitu merencanakan skenario sistem pengelolaan sampah dengan membandingkan antara pengelolaan sampah oleh sektor formal dan sektor informal serta gabungan antara keduanya menggunakan metode *Life Cycle Assessment (LCA)*.

METODE

Mengevaluasi sistem manajemen sampah khususnya di Kota Padang dengan merencanakan 3 skenario sistem pengelolaan sampah yaitu dengan membandingkan (1) sistem pengelolaan sampah sektor informal, (2) sistem pengelolaan sampah dengan bank sampah, (3) sistem manajemen sampah kombinasi antara sektor informal dengan bank sampah. Skenario 1 ini direncanakan berdasarkan keberadaan sektor informal umumnya tidak terorganisir dan tertata secara khusus melalui peraturan. Skenario 2 yaitu bank sampah, dibentuk karena kurangnya kepedulian masyarakat terhadap kebersihan lingkungan dan faktor ekonomi, tetapi kondisi lapangan banyak bank sampah yang tidak aktif melakukan proses daur ulang sampah. Skenario 3, dirancang untuk menggabungkan sistem pengolahan antara sektor informal dengan bank sampah.

Data Primer

Pengambilan sampel dilakukan secara purposif. Survei pendahuluan untuk mencari bank sampah mana saja yang aktif beroperasi di Kota Padang. Hasil survei diperoleh 7 bank sampah yang aktif sehingga sampel bank sampah yang akan dikaji yaitu 7 bank sampah aktif beroperasi. Data primer diperoleh berupa kondisi eksisting pengelolaan sampah pada bank sampah terkait dengan aspek teknis operasional terdiri dari aspek timbulan, pewardahan, pengumpulan, pengolahan (pengomposan dan daur ulang),

Data Sekunder

Data sekunder yang dibutuhkan yaitu Timbulan dan komposisi sampah Kota Padang (Hafizh, 2016), Data pengelolaan sampah Kota Padang [5], Timbulan dan komposisi sampah dari sektor informal [6].

Analisis Life Cycle Assessment

Tahapan ini diawali dengan penentuan unit fungsional, dimana unit fungsional yang digunakan adalah 1 ton timbulan sampah. Timbulan sampah ini akan menjadi input di setiap skenario yang disusun.

- 1) Sistem 1 merupakan kondisi eksisting yang ada di Kota Padang dimana yang berperan besar yaitu sektor informal. Data kegiatan sektor informal yang dinilai berdasarkan aktivitas yang menghasilkan dampak lingkungan (emisi CO₂).
- 2) Sistem 2 merupakan manajemen sampah dengan adanya pengolahan di bank sampah. Data sistem pengangkutan ke bank sampah dan pengolahan apa saja yang dilakukan di bank sampah yang dinilai berdasarkan aktivitas yang menghasilkan dampak lingkungan (emisi CO₂).
- 3) Sistem 3 merupakan manajemen sampah dengan gabungan antara sistem 1 dan sistem 2. Dinilai proses sampah tereduksi dengan menerapkan pengolahan daur ulang sehingga dapat dianalisis total timbulan yang akan diurug di TPA dapat diminimalisasi dan memiliki dampak lingkungan yang rendah.

Tahap Penilaian Dampak Life Cycle Impact Assessment

Melakukan pengelompokan dan penilaian mengenai besar dampak yang ditimbulkan terhadap lingkungan berdasarkan input data tahap inventori. Metode penilaian dampak yang digunakan yaitu CML-IA (baseline) (*Institute of Environmental Sciences, Leiden University*). Metode ini dipilih karena dapat dengan baik menilai dampak pada indikator midpoint dengan mengaplikasikan standar ISO 14040.

- 1) Klasifikasi Dampak
 Adapun kriteria dampak yang terdapat pada metode CML-IA (*baseline*) adalah *Global Warming Potential (GWP)*, *Acidification Potential (AP)* dan *Eutrophication Potential (EP)*.
- 2) Karakterisasi Dampak
 Karakterisasi menyediakan cara untuk langsung membandingkan hasil LCI dalam setiap kategori dampak. Faktor-faktor karakterisasi menerjemahkan *input* persediaan yang berbeda ke dalam indikator dampak langsung dibandingkan.
- 3) Normalisasi dan Pembobotan Dampak
 Tahapan normalisasi dan pembobotan dilakukan untuk memilih alternatif terbaik.

Tabel 1. Faktor Normalisasi

Kategori Dampak	Faktor
<i>Global Warming Potential (GWP 100 years)</i>	1.993×10^{-13}
<i>Acidification Potential</i>	3.551×10^{-11}
<i>Eutrophication Potential</i>	7.594×10^{-11}

Tahap pembobotan dilakukan untuk mengetahui pengaruh besaran dari masing-masing dampak terhadap besaran kategori dampak keseluruhan.

Tabel 2. Faktor Pembobotan

Kategori Dampak	Faktor
<i>Global Warming Potential (GWP 100 years)</i>	7051.57
<i>Acidification Potential</i>	302.05
<i>Eutrophication Potential</i>	383.033

Tahap Interpretasi (*Life Cycle Interpretation*)

Interpretasi bertujuan untuk mengidentifikasi, mengevaluasi dan menyimpulkan analisis dampak lingkungan dari sistem pengelolaan sampah di Kota Padang yang dinilai pada tahap sebelumnya. Analisis ini menilai tahapan sistem pengelolaan sampah mana yang berdampak besar terhadap semua skenario dan membandingkan antara beberapa skenario untuk menentukan skenario terbaik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengelolaan Sampah oleh Sektor Formal

Pengolahan yang dilakukan oleh bank sampah yaitu pengomposan, daur ulang sampah plastik, dan pencacahan sampah. pengumpulan sampah pada bank sampah di Kota Padang berjalan dengan dua sistem yaitu pengumpulan secara aktif dan pasif. Pengumpulan secara aktif dilakukan oleh masyarakat yang ingin menabung sampah mereka dengan mengantar langsung sampah ke bank sampah. Pengumpulan secara pasif dilakukan dengan becak motor yang menjemput sampah langsung (*door to door*) ke masyarakat. Observasi dan wawancara yang dilakukan pada tujuh bank sampah di Kota Padang, timbulan sampah yang ditabung berbeda pada tiap bank sampah setiap minggunya. Sampah-sampah yang ditabung di bank sampah sebagian besar dijual. Beberapa bank sampah melakukan daur ulang terhadap sampah-sampah tersebut.

Tabel 3. Rekap Total Timbulan dan Komposisi Sampah di Bank Sampah.

No	Nama Bank Sampah	Jumlah Sampah/ Bulan (kg/bulan)				
		Sampah Makanan	Kertas/ Kardus	Plastik	Logam	Kaca
1	Bank Sampah Sakinah	60.81	28.87	76.65	12.89	2.67
2	Bank Sampah Panca Daya	0	1187	367	463	345
3	Bank Sampah Enviro Andalas	0	149	15.54	41.4	0
4	Bank Sampah Hidayah	0	350	250	60	30
5	Bank Sampah Barokah Assalam	0	123.4	12.4	19.5	16
6	Bank Sampah Lidah Mertua	0	185.1	37.6	9.5	24.67
7	Bank Sampah Bangau Putih	0	256	305	76	8.83
Total Sampah/Bulan		60.81	2279.37	1064.19	682.29	427.17

Total timbulan sampah yang mampu diolah oleh bank sampah perbulannya adalah 0,1504 ton/hari. Dokumen Jakstrada Kota Padang, total timbulan sampah yang dihasilkan di Kota Padang tahun 2019 sebesar 652 ton/hari. Persentase pengurangan sampah oleh bank sampah diperoleh sebesar 0,023%. Bank sampah di Kota Padang dinilai belum memberikan kontribusi secara maksimal dalam pengolahan sampah.

Pengelolaan Sampah oleh Sektor Informal
Karakteristik Sektor Informal

Jumlah pemulung yang disampling pada sebanyak 27 orang, diantaranya 7 orang merupakan pemulung di TPA Air Dingin dan 20 orang pemulung yang berada di lokasi TPS, lapak sebanyak 6 buah dengan jumlah total pekerja 23 orang, dan bandar sebanyak 5 buah dengan jumlah pekerja sebanyak 26 orang [6].

Pengelolaan Sampah Sektor Informal

- **Pemulung**
 pengelolaan sampah oleh pemulung dilakukan dengan pengumpulan atau penyortiran sampah yang dibuang ke TPA dan TPS (wadah komunal). Jenis sampah yang diambil oleh pemulung umumnya adalah sampah yang layak jual.
- **Lapak**
 Proses pengelolaan sampah di lapak dimulai dengan kegiatan penerimaan sampah dari pemulung. Setelah sampah diterima, pekerja lapak melakukan pengecekan terhadap isi sampah. Selanjutnya pekerja lapak melakukan pembersihan dan penyortiran kembali untuk melihat kondisi sampah masih layak dijual atau tidak.
- **Bandar**
 Penerimaan dan pengecekan sampah yang berasal dari lapak. Pengecekan dilakukan untuk melihat kondisi sampah layak dikirim ke industri daur ulang. Selanjutnya penimbangan, pengemasan atau pengepakan sampah.

Timbulan Sampah dan Komposisi Sampah

Komposisi sampah yang diperoleh pemulung diantaranya adalah sampah plastik sebesar 40% berupa botol plastik, gelas plastik dan kemasan plastik. Selanjutnya sampah kertas sebesar 34% seperti duplex (karton), kardus, kertas buram dan sampah logam sebesar 26% seperti besi, aluminium, dan tembaga.

Tabel 4. Timbulan Sampah yang Diolah Sektor Informal

No	Komposisi Sampah	Dikelola sektor informal (kg/hari)
1	Sampah kertas	6.477
2	Sampah logam	6.274
3	Sampah plastik	7.489
Total		20.240

Total sampah yang dikelola oleh sektor informal di Kota Padang adalah 20,24 ton/hari. Berdasarkan dokumen Jakstrada Kota Padang, total timbulan sampah yang dihasilkan di Kota Padang tahun 2019 sebesar 652 ton/hari [5], didapatkan persentase sampah yang dikelola oleh sektor informal di Kota Padang sebesar 3,16%.

Analisis LCA Skenario Pengelolaan Sampah

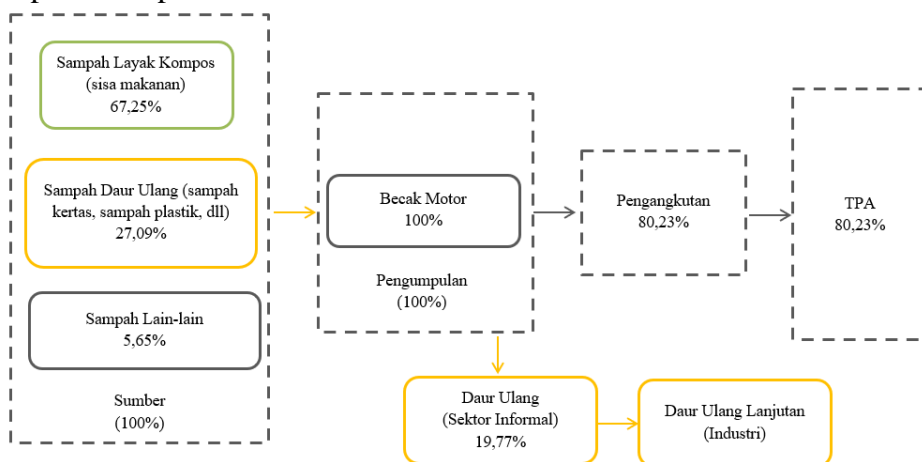
Skenario 1

Data Inventori sampah yang digunakan antara lain, kondisi sampah terpisah antas sampah daur ulang dan sampah lain-lain, total timbunan sampah 652 ton, timbunan sampah daur ulang 20,24 ton, jarak tempuh pengumpulan pemulung -lapak 5,5 km, jarak tempuh pengumpulan lapak-bandar 7,3 km, Timbunan Sampah *landfill* 631,760 ton dan jarak tempuh pengangkutan dari sumber ke TPA 5,5 km.

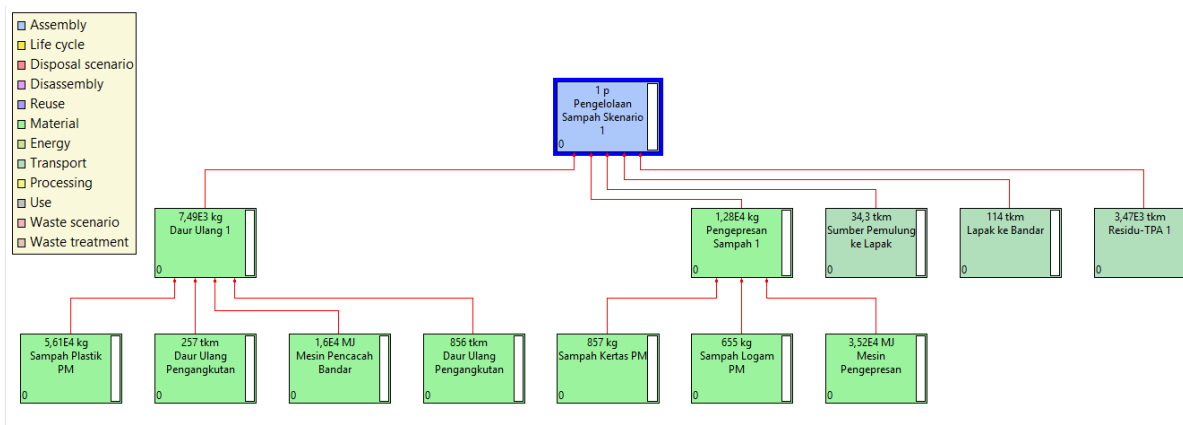
Tabel 5. Data Inventori Kebutuhan Energi Pengelolaan Sampah Skenario 1

Kebutuhan Energi	Jarak Tempuh (km)	Energi (tkm)
Pengangkutan Pemulung-Lapak (tkm)	5,5	34,30
Pengangkutan Lapak-Bandar (tkm)	6,5	114,34
Mesin Pencacah (MJ)	-	2.141,51
Mesin Pengepresan (MJ)	-	2.759,48
Pengangkutan Residu-TPA (tkm)	5,5	3.474,68

Analisis inventori menghasilkan *network* berupa diagram proses yang terjadi pada setiap skenario.



Gambar 1. Diagram Skenario 1



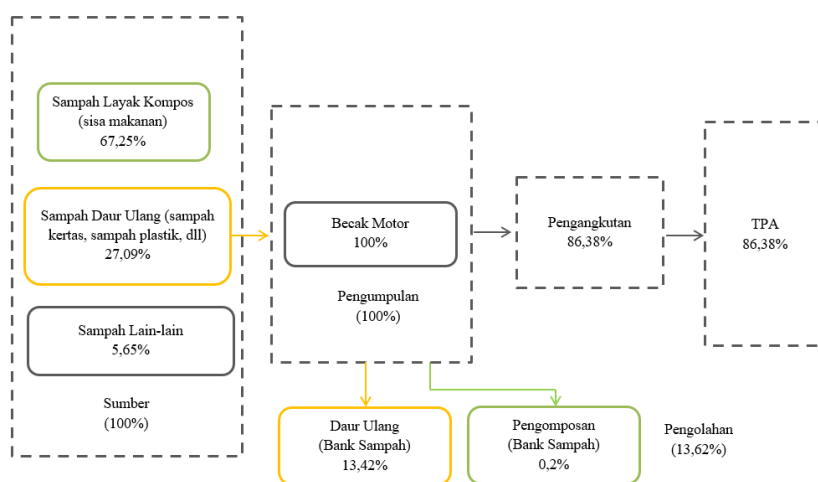
Gambar 2. Network Skenario 1

Skenario 2

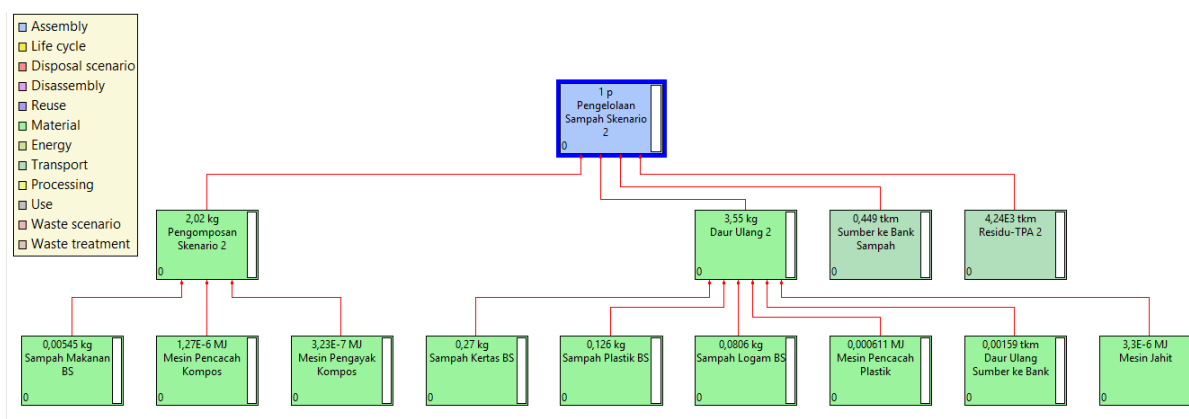
Sampah dikumpul ke bank sampah dengan becak motor berbahan bakar bensin. Jarak dari sumber ke bank sampah rata-rata yaitu 3,3 km dengan timbulan 0,1360ton sehingga total energi yang dihasilkan yaitu 0,488 tkm. Jumlah sampah yang dikompos yaitu 0,0020 ton. Proses ini menggunakan mesin pencacah kompos. Spesifikasi pemakaian alat yaitu 5,5 kWh dengan kapasitas 50-100 kg per jam dengan penggunaan 2 jam/hari sehingga energi yang dihasilkan 0,00063 MJ. Untuk membuat kerajinan dari sampah plastik menggunakan mesin jahit dengan energi 0,005 kWh timbulan 0,0671 ton dengan energi yang dihasilkan 0,00093 MJ. Sisa sampah plastik dilakukan pencacahan menggunakan mesin pencacah dengan spesifikasi daya 8 HP, 5,5 kWh kapasitas 200 kg/jam energi yang dihasilkan 0,172 MJ.

Tabel 6. Data Inventori Kebutuhan Energi Pengelolaan Sampah Skenario 2

Kebutuhan Energi	Jarak Tempuh (km)	Energi (tkm)
Pengangkutan Sumber-Bank Sampah (tkm)	3,3	0,4488
Mesin Pencacah Kompos (MJ)	-	0,00063
Mesin Pengayak Kompos (MJ)	-	0,00016
Mesin Pencacah (MJ)	-	0,172
Mesin Jahit (MJ)	-	0,00093
Pengangkutan Residu-TPA (tkm)	5,5	3.585,25



Gambar 3. Diagram Skenario 2



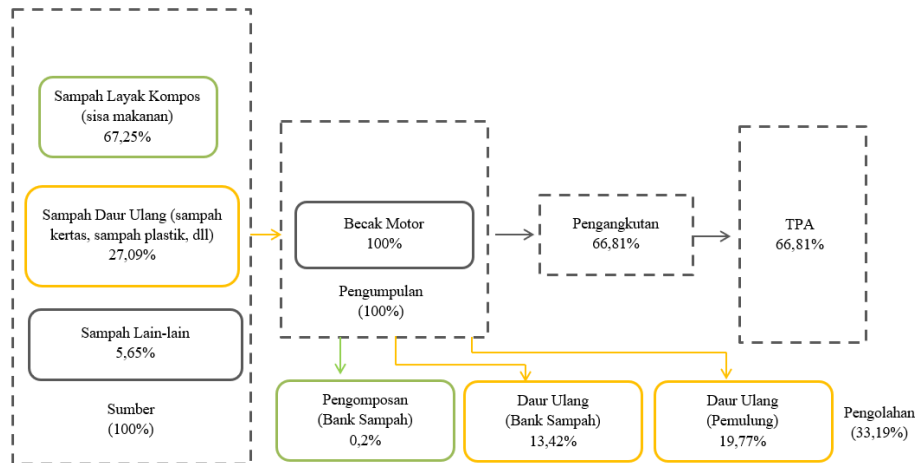
Gambar 4. Network Skenario 2

Skenario 3

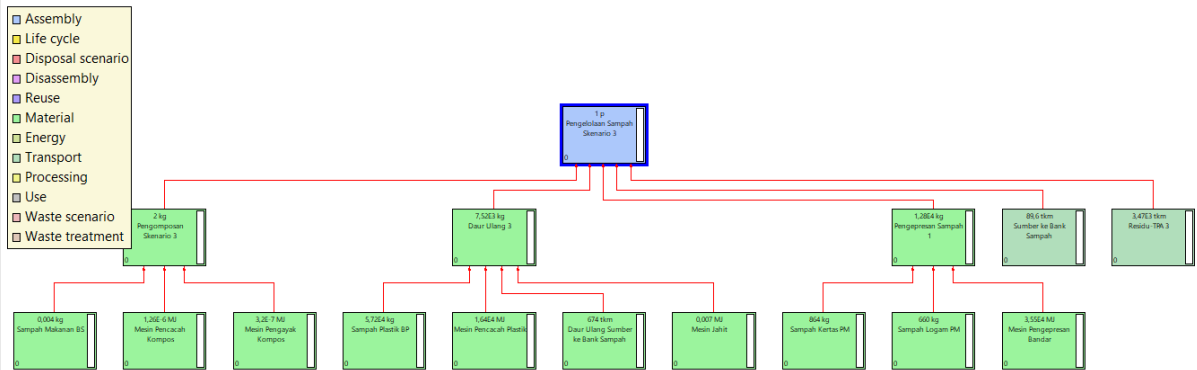
Alternatif pada skenario 3 merupakan kombinasi antara skenario 1 dan skenario 2, dimana pengolahan dan timbulan sampah yang dilakukan oleh sektor informal digabungkan dengan bank sampah. Semua proses yang dilakukan dinilai dampak lingkungan yang ditimbulkan.

Tabel 7. Data Inventori Kebutuhan Energi Pengelolaan Sampah Skenario 3

Kebutuhan Energi	Jarak Tempuh (km)	Energi (tkm)
Pengangkutan Sumber-Bank Sampah (tkm)	4,4	89,628
Mesin Pencacah Kompos (MJ)	-	0,00063
Mesin Pengayak Kompos (MJ)	-	0,00016
Mesin Pencacah (MJ)	-	2180,06
Mesin Pengepresan (MJ)	-	2759,48
Mesin Jahit (MJ)	-	0,00093
Pengangkutan Residu-TPA (tkm)	5,5	3.473,93



Gambar 5. Diagram Skenario 3



Gambar 6. Network Skenario 3

Penilaian Dampak (*Life Cycle Impact Assessment*)

1. Klasifikasi Dampak

- **GWP (*Global Warming Potential*)**

GWP menyatakan nilai potensi pemanasan global yang disebabkan oleh emisi dalam jangka waktu 100 tahun. GWP dinyatakan dalam kg CO₂ ekuivalen, yang merupakan gas rumah kaca utama penyebab pemanasan global.

Tabel 8. Data Inventori Aliran Materi

Koefisien LCI	Pengomposan	Daur Ulang Sektor Informal	Daur Ulang Plastik	Landfill di TPA
Emisi Udara (kg/ton)				
CH ₄	3,0×10 ^{-1 a}	-	-	31,10 ^c
N ₂ O	2,0×10 ^{-1 a}	-	-	-
NH ₃	2,5×10 ^{-2 a}	-	-	-
VOCS	3,2×10 ^{-1 a}	2,89×10 ^{-1 b}	2,89×10 ^{-1 b}	2,89×10 ^{-3 c}
PM	-	5,48×10 ^{-6 b}	5,48×10 ^{-6 b}	-
NOX	-	5,74×10 ^{-5 b}	5,74×10 ^{-5 b}	5,9×10 ^{-2 c}
SOX	-	-	-	5,0×10 ^{-3 c}
HCl	-	8,63×10 ^{-7 b}	8,63×10 ^{-7 b}	-
HF	-	9,73×10 ^{-6 b}	9,73×10 ^{-6 b}	-
Mercury	-	3,5×10 ^{-9 b}	3,5×10 ^{-9 b}	8,8×10 ^{-8 c}
CO ₂	-	2,32×10 ^{-2 b}	2,32×10 ^{-2 b}	69,80 ^c
CO	-	6,19×10 ^{-4 b}	6,19×10 ^{-4 b}	-
Metal	-	-	-	8,8×10 ^{-8 c}
SPM	-	-	-	2,17 ^c
HCFC	-	-	-	3,37×10 ^{-4 c}
Cd	-	2,88×10 ^{-1 b}	2,88×10 ^{-1 b}	-
Ni	-	1,60×10 ^{-9 b}	1,60×10 ^{-9 b}	-
Ar	-	1,04×10 ^{-10 b}	1,04×10 ^{-10 b}	-
Emisi Air (kg/ton)				
VOCS	-	2,89×10 ^{-1 b}	2,89×10 ^{-1 b}	-
Cd	-	1,36×10 ^{-9 b}	1,36×10 ^{-9 b}	1,2×10 ^{-5 c}
Ni	-	1,81×10 ^{-8 b}	1,81×10 ^{-8 b}	1,48×10 ^{-4 c}
Ar	-	1,62×10 ^{-9 b}	1,62×10 ^{-9 b}	-
COD	-	-	-	1,62 ^c
Cu	-	-	-	6,0×10 ^{-5 c}
Cr	-	-	-	1,4×10 ^{-4 c}
Zn	-	-	-	3,4×10 ^{-4 c}
Pb	-	-	-	4,1×10 ^{-5 c}

- **AP (Acidification Potential)**

Senyawa yang sangat berkontribusi terhadap potensi asidifikasi ini yaitu senyawa-senyawa asam terdiri dari SO_x, NO_x, HF dan HCL. Potensi asidifikasi dinyatakan dalam satuan kg SO₂, sehingga senyawa lain yang bukan SO₂ namun memiliki kontribusi pada terjadinya asidifikasi diekivalenkan ke satuan massa SO₂.

- **EP (Eutrophication Potential)**

Senyawa yang paling berkontribusi terhadap potensi eutrofikasi ini adalah nitrogen dan fosfor. EP ini ditemukan dalam satuan kg PO₄³⁻. sehingga senyawa lain yang bukan PO₄³⁻ namun memiliki kontribusi pada terjadinya eutrofikasi diekivalenkan ke satuan PO₄³⁻.

2. Karakterisasi Dampak

Karakterisasi akan membandingkan hasil analisis inventori dalam setiap kategori dampak. Karakterisasi dampak juga menentukan besarnya dampak yang telah diklasifikasikan.

- **GWP (Global Warming Potential)**

Skenario 2 memiliki tingkat GWP yang tinggi yaitu dengan nilai $1,9680 \times 10^{-11}$ kg CO₂-eq dibandingkan dengan skenario 1 dan skenario 3. Nilai GWP yang kecil terdapat pada skenario 3 yaitu $1,6661 \times 10^{-13}$ kg CO₂-eq hal ini dikarenakan jumlah timbulan sampah yang diolah lebih banyak dibandingkan skenario 1 dan skenario 2 sehingga residu yang dihasilkan juga lebih sedikit untuk dibawa ke TPA.

- **AP (Acidification Potential)**

Alternatif skenario 2 memiliki nilai AP yang tinggi yaitu dengan nilai $4,3200 \times 10^{-12}$ kg SO₂-eq. Tingkat AP ini didominasi oleh emisi udara yang dipaparkan oleh proses pengolahan, pengumpulan/pengangkutan maupun timbulan sampah pada masing-masing alternatif. Pada skenario 3 tingkat AP memiliki nilai yang paling rendah yaitu $3,6540 \times 10^{-12}$ kg SO₂-eq, proses pengumpulan/pengangkutan terdapat pada skenario ini.

- **EP (Eutrophication Potential)**

Skenario 1 menghasilkan nilai EP paling kecil yaitu $2,0609 \times 10^{-12}$ kg PO₄³⁻. Nilai EP yang paling tinggi yaitu pada skenario 2 dengan nilai $2,4391 \times 10^{-12}$ kg PO₄³⁻ karena pada alternatif ini pengolahan sampah yang sedikit sehingga timbulan sampah yang dihasilkan langsung dibawa ke TPA.

3. Normalisasi Dampak

Normalisasi merupakan proses analisis data, dimana membandingkan indikator dampak dengan kategori dampak. Normalisasi dilakukan sebagai saran penanggulangan tidak konsistennya data inventori yang digunakan.

4. Pembobotan Dampak

Hasil pembobotan dampak pada skenario 2 memiliki nilai paling besar yaitu $4,8313 \times 10^{-20}$ dan skenario 3 menjadi alternatif terpilih karena memiliki nilai dampak yang paling kecil yaitu $4,0930 \times 10^{-20}$. Skenario 2 pengolahan sampah hanya dilakukan di bank sampah dan jumlah timbulan sampah yang diolah hanya 0,021% dari timbulan sampah Kota Padang.

Tahap Interpretasi (*Life Cycle Impact Interpretation*)

Interpretasi tahap akhir dalam tahapan LCA bertujuan untuk mengidentifikasi, mengevaluasi dan menyimpulkan analisis dampak lingkungan dari sistem pengelolaan sampah di Kota Padang.

Kontribusi Dampak

- **GWP (*Global Warming Potential*)**

Tabel 9. Kontribusi Dampak untuk Kategori GWP

Proses	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3
Pengomposan	-	1,62492E-22	1,60883E-22
Pengepresan	8,27342E-23	-	8,33746E-23
Daur Ulang	4,85899E-23	2,30336E-26	4,88203E-23
Transportasi	2,35094E-20	2,74948E-20	2,31216E-20
Total	2,364E-20	2,766E-20	2,341E-20

Berdasarkan hasil perbandingan dampak skenario 2 memiliki nilai yaitu $2,7657 \times 10^{-20}$ kg CO₂-eq lebih tinggi dibandingkan skenario 1 dan skenario 2, karena residu yang dihasilkan lebih besar dan jumlah timbulan sampah yang diolah paling kecil. Skenario 3 memiliki nilai paling rendah $2,3415 \times 10^{-20}$ kg CO₂-eq.

- **AP (*Acidification Potential*)**

Tabel 10. Kontribusi Dampak untuk Kategori AP

Proses	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3
Pengomposan	-	2,7074E-23	2,68059E-23
Pengepresan	1,39345E-22	-	1,40423E-22
Daur Ulang	8,18374E-23	3,87943E-26	8,22254E-23
Transportasi	3,95956E-20	4,63079E-20	3,89425E-20
Total	3,982E-20	4,634E-20	3,919E-20

Nilai AP pada skenario 3 memiliki nilai AP terendah yaitu $3,919 \times 10^{-20}$ kg SO₂-eq. Skenario 2 dengan nilai AP yang paling tinggi yaitu $4,634 \times 10^{-20}$ kg SO₂-eq karena residu yang dihasilkan besar sehingga energi (tkm) yang dibutuhkan juga akan besar.

- **EP (*Eutrophication Potential*)**

Tabel 11. Kontribusi Dampak untuk Kategori EP

Proses	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3
Pengomposan	-	1,2296E-21	1,21742E-21
Pengepresan	2,09789E-22	-	2,11413E-22
Daur Ulang	1,23209E-22	5,84063E-26	1,23793E-22
Transportasi	5,96126E-20	6,97183E-20	5,86293E-20
Total	5,9946E-20	7,0948E-20	6,0182E-20

Skenario 2 memiliki nilai EP terbesar karena sampah yang diurug di TPA banyak sehingga menghasilkan polutan udara yang besar. Emisi gas yang dihasilkan seperti CH₄, N₂O, NH₃ dan VOC menjadi penyebab meningkatnya nilai EP.

Rekomendasi Perbaikan Alternatif Terbaik

Dari hasil pembobotan pada tahapan sebelumnya skenario 3 merupakan alternatif terbaik karena memiliki bobot nilai yang paling kecil yaitu $4,0930 \times 10^{-20}$. Skenario 3 ini sudah dilakukan pengolahan di sumber yaitu kerjasama antara sektor informal dengan bank sampah seperti pengomposan dan daur ulang, tetapi setelah dianalisis menggunakan metode LCA pengolahan yang awalnya diharapkan dapat mengurangi dampak lingkungan ternyata masih memiliki dampak terutama pada setiap proses yang menggunakan peralatan menghasilkan energi. Masih diperlukan peningkatan perbaikan serta alternatif solusi dalam meminimalkan dampak terhadap lingkungan.

Proses Pengumpulan dan Pengangkutan

Penyebab dampak dari proses pengumpulan dan pengangkutan terhadap lingkungan berasal dari konsumsi bahan bakar. Jarak yang jauh juga menyebabkan emisi yang dikeluarkan semakin besar, oleh karena itu disarankan untuk memilih jalur transportasi yang lebih dekat dan mengganti bahan bakar dengan yang lebih ramah lingkungan. Pengumpulan sampah menggunakan *becak motor*, perbaikan yang dilakukan yaitu, menggunakan bahan bakar yang ramah lingkungan, menggunakan becak motor yang tertutup, gerobak manual untuk mengurangi emisi lingkungan dan memilah sampah sebelum dilakukan pengumpulan ke TPS.

Proses Pengolahan di Bank Sampah

Pengolahan di bank sampah yaitu pengomposan, pencacahan sampah plastik, dan pengepresan untuk mengurangi dampak yang ditimbulkan ke lingkungan maka perbaikan yang dilakukan yaitu, menggunakan listrik untuk mesin pengolahan sampah sehingga emisi yang dihasilkan dapat diperkecil ke lingkungan, mengolah sampah lebih banyak yang bisa untuk dikompos sehingga sampah yang diurug ke TPA menjadi berkurang begitu juga sampah yang bisa didaur ulang, menggunakan metode pengomposan takakura yang ramah lingkungan dan tidak membutuhkan mesin yang banyak untuk mengolah sampah untuk dijadikan kompos.

Proses Landfill

Pengurangan timbulan sampah ke *landfill* dapat dilakukan dengan cara mengoptimalkan pengolahan sampah di bank sampah sehingga timbulan sampah yang dibawa dan diurug ke TPA menjadi berkurang.

KESIMPULAN

kajian aspek pengumpulan dan pengolahan sampah sektor informal dan bank sampah terhadap sistem pengelolaan sampah Kota Padang menggunakan metode LCA dapat diambil kesimpulan yaitu Potensi dampak lingkungan dari ketiga skenario sistem yang direncanakan, memiliki dampak yang cukup berpengaruh ke lingkungan. Karakterisasi dampak yang dihasilkan skenario 1, 2 dan 3 untuk nilai *Global Warming Potential* berturut-turut yaitu $1,6822 \times 10^{-11}$ kg CO₂-eq, $1,9680 \times 10^{-11}$ kg CO₂-eq dan $1,6661 \times 10^{-11}$ kg CO₂-eq; nilai *Acidification Potential* yaitu $3,7122 \times 10^{-12}$ kg SO₂-eq, $4,3200 \times 10^{-12}$ kg SO₂-eq dan $3,6540 \times 10^{-12}$ kg SO₂-eq; dan nilai *Eutrophication Potential* yaitu $2,0609 \times 10^{-12}$ kg PO₄³⁻, $2,4391 \times 10^{-12}$ kg PO₄³⁻ dan $2,0690 \times 10^{-12}$ kg PO₄³⁻.

Hasil pembobotan dari normalisasi penilaian dampak menggunakan metode CML-IA dari *software* SimaPro skenario 2 memiliki nilai paling besar yaitu $4,8313 \times 10^{-20}$ dan skenario 3 memiliki nilai yang paling kecil yaitu $4,0930 \times 10^{-20}$. Sektor informal mampu melakukan pengolahan sampah sebesar 3,16%. Diperlukan upaya dari berbagai pihak agar kegiatan daur ulang sampah oleh sektor informal menjadi bagian yang terintegrasi dalam pengelolaan sampah yang dilakukan pemerintah setempat salah satunya dapat bekerjasama dengan bank sampah. Skenario 3 merupakan alternatif terbaik karena memiliki bobot nilai yang paling kecil yaitu $4,0930 \times 10^{-20}$.

REFERENSI

- [1] Permen LH No 13. 2012. Pedoman Pelaksanaan Reduce, Reuse, Dan Recycle Melalui Bank Sampah. Jakarta: Kementrian Dalam Negri
- [2] Raharjo, S. 2017. Community-based solid waste bank program for municipal solid waste management improvement in Indonesia: a case study of Padang city. *Journal of Material Cycles and Waste Management*. <https://doi.org/10.1007/s10163-015-0401-z>.
- [3] Luong, N.D., Giang, H.M. Thanh, B.X. and Hung, N.T. 2013. Challenges for Municipal Solid Waste Management Practice in Vietnam, *Waste Technology* 1(1):6-9. Doi: <http://dx.doi.org/10.12777/wastech.1.1.2013.17-21>.
- [4] Damanhuri, E., & Padmi, T. (2012). The Role of Informal Collectors of Recyclable Waste and Used Goods in Indonesia.
- [5] Dinas Lingkungan Hidup Kota Padang. (2020). Pengelolaan Sampah di Kota Padang. Data DLH Kota Padang.
- [6] Stephanie, H 2020. *Kajian Pengelolaan Sampah Oleh Sektor Informal Di Kota Padang* Tugas Akhir Sarjana. Jurusan Teknik Lingkungan Universitas Andalas, Padang.
- [7] Hafizh. 2016. Studi Timbulan, Komposisi, Karakteristik Dan Potensi Daur Ulang Sampah Domestik Kota Padang.
- [8] Aziz, R. dan Febriardy. (2016). *Analisis Sistem Pengelolaan Sampah Perkantoran Kota Padang Menggunakan Metode Life Cycle Assessment*. *Jurnal Dampak* 13(2): 60.
- [9] Amelia, D. (2018). Potensi Pengelolaan Sampah yang Dilakukan Oleh Sektor Informal di Wilayah Kota Yogyakarta Tahun 2018. Tugas Akhir. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.
- [10] Abduli, M., Naghib, A., Yonesi, M., Ali, A. 2010. *Life Cycle Assessment (LCA) of Solid Waste Management Strategies in Tehran: Landfill and Composting Plus Landfill*. *Environmental Monitoring Assessment*, 178, 487-498.
- [11] Wati. 2018. Kajian Potensi Wirausaha Komunitas Pemulung TPA Air Dingin Kota Padang. *Journal of Economic and Economic Education Vol. 6 No.2 (164-175)*. <https://dx.doi.org/10.222.02/economica.2018.6.2.2499>.