

MULTICRITERIA ANALYSIS FOR SELECTING MUNICIPAL SOLID WASTE COMPOSTING TECHNOLOGY

ANALISIS MULTI KRITERIA PEMILIHAN TEKNOLOGI PENGOMPOSAN SAMPAH

Adi Susangka¹ and Mochammad Chaerul²

Environmental Engineering Study Program

Faculty of Civil and Environment Engineering ITB, Jl. Ganesha 10 Bandung 40132

¹adi_susangka@yahoo.com dan ²mochammad.chaerul@ftsl.itb.ac.id

Abstract: Organic waste is the highest percentage of Municipal Solid Waste component in Indonesia, which suitable mostly to composted. There are various kind of composting technologies, which the municipality should consider various criteria to choose a particular composting technology. The criteria include social, economic, environment, and technical aspects. To solve the problem, Analytical Hierarchy Process was proposed. Interactive interview was conducted to get a pairwise comparison from various stakeholder, include the expert, the municipality officer, operator of composting technology, public mass. For a case study, Bandung city was chosen to represent a developing country characteristic. The research was involved in 12 respondents. Based on the calculation, windrow technology was the most suitable composting technology to be applied in Indonesia.

Key words: organic waste, composting, decision making, multi criteria, analytic hierarchy process

Abstrak : Sampah organik merupakan komponen sampah yang paling dominan di Indonesia, dimana jenis ini sangat layak untuk dikomposkan. Terdapat beberapa macam jenis teknologi pengomposan, dimana pihak pemerintah sebaiknya mempertimbangkan beberapa macam kriteria untuk memilih teknologi pengomposan yang paling sesuai. Kriteria yang digunakan meliputi aspek sosial, ekonomi, lingkungan, dan teknis. Sebagai bentuk pemecahan masalah, digunakan metode Analytic Hierarchy Process. Wawancara interaktif dilakukan untuk mendapatkan perbandingan berpasangan dari berbagai pihak stakeholder, termasuk expert, pegawai pemerintahan, operator teknologi pengomposan, dan masyarakat umum. Sebagai studi kasus, kota Bandung dipilih menjadi obyek penelitian untuk merepresentasikan karakteristik negara berkembang. Penelitian ini melibatkan pihak stakeholder dari perguruan tinggi sebanyak 12 responden. Berdasarkan hasil perhitungan, windrow merupakan teknologi pengomposan yang paling sesuai untuk diaplikasikan di Indonesia.

Kata kunci: sampah organik, pengomposan, pengambilan keputusan, multikriteria, analytic hierarchy process

1. PENDAHULUAN

Sampah merupakan sisa kegiatan sehari-hari manusia yang tidak memiliki nilai kegunaan sama sekali. Jumlah timbulan yang semakin meningkat mengakibatkan sampah perlu dikelola dengan baik, agar tidak menimbulkan masalah bagi kesehatan masyarakat. Kegiatan pengelolaan sampah meliputi penanganan sampah dari sumber, penyimpanan, pengangkutan, pengolahan, dan pembuangan akhir. Pengolahan sampah memegang peranan penting untuk mengurangi timbulan dan meringankan beban operasi di tempat pembuangan akhir (TPA). Dalam menentukan teknologi pengolahan sampah sebaiknya disesuaikan dengan karakteristik sampah yang ada, terutama karakteristik daerah setempat. Pada umumnya karakteristik sampah domestik di Indonesia masih didominasi oleh jenis sampah organik, dimana jenis ini sangat sesuai untuk

dikomposkan. Pengomposan merupakan salah satu metode pengolahan sampah yang sangat efektif untuk diaplikasikan di Indonesia. Terdapat beberapa jenis teknologi pengomposan yang kita kenal, antara lain *windrow*, *aerated static pile* (aktif dan pasif), *in-vessel*, *vermicomposting*, dan lain-lain. Setiap jenis teknologi ini memiliki kelebihan dan kelemahan masing-masing, sehingga pihak pengelola sampah kota perlu mengetahui pilihan yang terbaik sesuai dengan kondisi dan kebutuhan daerah setempat.

Dalam pengambilan keputusan, Pemerintah sebagai pihak pengambil keputusan (*decision maker*) perlu mempertimbangkan banyak aspek/hal. Salah satu metode yang bisa digunakan untuk membantu dalam proses pengambilan keputusan adalah dengan menggunakan metode AHP (*Analytic Hierarchy Process*).

AHP merupakan proses berpikir yang komprehensif, logis dan terstruktur, dan sesuai untuk digunakan dalam upaya penyelesaian masalah yang menyangkut banyak aspek atau *multicriteria*. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui teknologi pengomposan yang paling sesuai dengan kondisi dan kebutuhan Indonesia, dengan menggunakan metode AHP. Aspek yang menjadi pertimbangan dalam penelitian ini adalah sosial, ekonomi, lingkungan dan teknis. Penelitian ini menggunakan survey kuesioner dengan sumber responden berasal dari pihak *stakeholder* pengelolaan sampah kota. Kota Bandung dipilih dalam penelitian ini karena dianggap sebagai model dari sebuah kota besar di negara berkembang.

Aplikasi Teknologi Pengomposan

Alternatif teknologi pengomposan terpilih yang akan digunakan adalah (1) pengomposan *aerated static pile* aktif, (2) *aerated static pile* pasif, (3) *windrow*, dan (4) *vermicomposting*.

1. *Aerated Static Pile* aktif

Dalam pengomposan *aerated static pile*, sampah organik dicampur bersama dalam satu kolom *pile* besar. Dalam metode ini, sebuah *blower* digunakan untuk memasukkan atau mengeluarkan udara sepanjang gundukan. Pembalikan sampah dilakukan hanya sekali ketika *pile* dibentuk. Karena *pile* tidak mengalami proses *turning*, perhatian harus diberikan pada pencampuran sampah. Sangatlah penting untuk membentuk campuran yang homogen dan tidak mengompaksi material (sampah) dengan mesin dalam pembuatan *pile*, sehingga distribusi udara dapat berimbang, dan tidak ada area anaerobik yang dapat mengakibatkan sampah menjadi tidak dikomposkan.

2. *Aerated Static Pile* pasif

Dalam metode ini, kebutuhan untuk proses pembalikan dapat ditiadakan, dan sebagai gantinya digunakan pipa berpori yang melintang di bagian dasar tumpukan sampah, untuk memberikan ruang udara masuk bagi material. Tumpukan sampah dilapisi dengan kompos matang, jerami atau *peat moss* (lumut tanah). Pipa disusun di atas lapisan selimut, dan kemudian di atasnya ditutupi dengan lapisan sampah (*windrow*), dengan ukuran tinggi tertentu. Lapisan selimut berguna untuk pembatas lahan pengolahan (*site*), mengusir serangga, dan mengurangi timbulan bau. Pipa disusun di antara bagian tengah lapisan selimut.

3. *Windrow*

Sampah disusun dalam gundukan yang kecil memanjang dengan lebar dan tinggi tertentu. Lebar *windrow* ditentukan oleh ukuran mesin yang akan digunakan untuk pembalikan *windrow*. Ukuran *windrow* ditentukan oleh porositas material. *Windrow* yang besar akan lebih cepat menjadi anaerobik pada bagian tengahnya, sehingga membutuhkan pembalikan yang konstan, sementara *windrow* yang terlalu kecil tidak akan mencapai suhu yang diinginkan untuk pengomposan yang efisien dan membunuh bibit penyakit dan patogen. Frekuensi pembalikan akan tergantung pada laju reaksi pengomposan. Suhu, konsentrasasi oksigen, dan bau adalah indikator yang bagus untuk pembalikan.

4. *Vermicomposting*

Vermicomposting merupakan proses yang menggunakan bantuan cacing tanah dan mikroorganismenya untuk membantu menstabilisasi material organik dan mengubahnya menjadi tanah yang kaya dengan sumber nutrisi. Cacing tanah akan mengkonsumsi sebagian besar material organik, termasuk kotoran hewan, sisa-sisa pertanian, benda-benda organik dari industri, sampah dari kebun, sisa-sisa makanan, sampah kertas, dan *sewage sludge*.

2. METODOLOGI

Penelitian dilakukan dengan menggunakan metode sampling kuesioner dalam bentuk wawancara langsung dengan pihak responden. Responden kuesioner merupakan pihak stakeholder pengelolaan sampah kota Bandung.

Penentuan Multi Kriteria

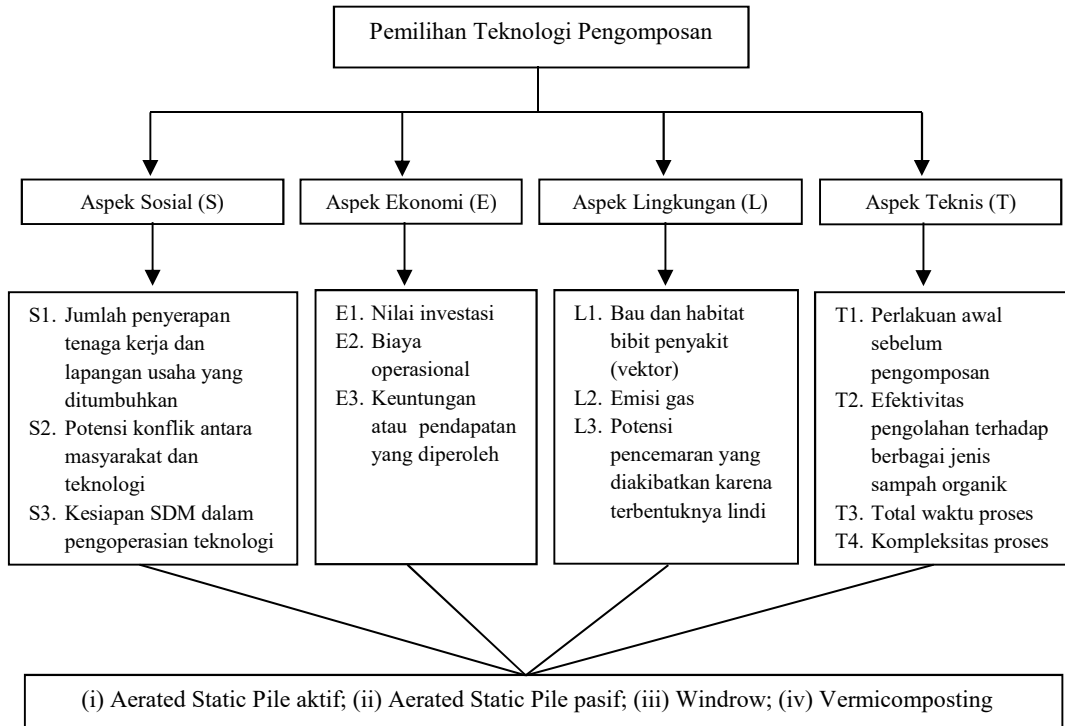
Proses pengambilan keputusan dengan menggunakan multikriteria bisa dilakukan dengan menggunakan metode AHP. Dalam penggunaan metode AHP, perlu dilakukan dekomposisi masalah dengan mengidentifikasi kriteria dan subkriteria yang akan digunakan. Kriteria utama dalam pemilihan teknologi adalah aspek sosial, aspek ekonomi, aspek lingkungan, dan aspek teknis. Aspek utama ini dibagi dalam tiga subkriteria sosial, tiga subkriteria ekonomi, tiga subkriteria lingkungan, dan empat subkriteria teknis (Tabel 1).

Tabel 1. Subkriteria Penelitian

Subkriteria sosial	Subkriteria ekonomi	Subkriteria lingkungan	Subkriteria teknis
<ul style="list-style-type: none">• Jumlah penyerapan tenaga kerja dan lapangan usaha yang ditumbuhkan• Potensi konflik antara masyarakat dan teknologi• Kesiapan SDM dalam pengoperasian pengomposan	<ul style="list-style-type: none">• Nilai investasi• Biaya operasional• Keuntungan atau pendapatan yang diperoleh	<ul style="list-style-type: none">• Bau dan habitat bibit penyakit (vektor)• Emisi gas• Potensi pencemaran yang diakibatkan karena terbentuknya lindi	<ul style="list-style-type: none">• Perlakuan awal sebelum pengomposan• Efektivitas pengolahan terhadap berbagai jenis sampah organik• Total waktu proses• Kompleksitas proses

Multi kriteria ini membentuk proses hierarki analisis, dengan tujuan utama (*goal*) berada di kedudukan paling atas, dan diikuti dengan kriteria utama, subkriteria, dan

alternatif permasalahan. Hierarki penelitian yang telah disusun (Gambar 1) merupakan dasar dalam penyusunan kuesioner dan pengolahan data.



Gambar 1. Hierarki Penelitian

Subkriteria-subkriteria tersebut masing-masing diberi kode nama untuk mempersingkat dan memudahkan dalam pengolahan data. Subkriteria sosial, ekonomi, lingkungan, dan teknis masing-masing disingkat menjadi S, E, L dan T. Kemudian, penamaan tersebut dilengkapi dengan angka sesuai dengan urutan hierarki di atas (Gambar 1). Misalnya adalah potensi konflik antara masyarakat dan teknologi, yang diberi kode nama S2.

Penentuan Stakeholder Pengelolaan Sampah Kota

Responden kuesioner merupakan pihak stakeholder pengelolaan sampah kota, meliputi pihak Pemerintah, pihak masyarakat, pihak akademisi, dan praktisi.

1. Pemerintah

Pemerintah sebagai pembuat kebijakan dan pengambil keputusan dalam masalah sampah kota merupakan stakeholder yang paling utama. Dalam penelitian ini, yang menjadi sumber responden adalah BPLHD (Badan Pengendalian Lingkungan Hidup Daerah) Jawa Barat, dan PD (Perusahaan Daerah) Kebersihan kota Bandung.

2. Masyarakat

Merupakan penghasil sampah organik yang paling besar, dan dari sinilah masalah sampah sering terjadi. Responden yang digunakan untuk mewakili masyarakat berasal dari pihak LSM yang bergerak di bidang lingkungan (terutama untuk sampah kota).

3. Akademisi

Pihak akademisi akan diwakili oleh dosen dan mahasiswa Teknik Lingkungan. Dengan pertimbangan, masalah pengelolaan sampah merupakan salah satu obyek studi di Program Studi ini. Pendapat dan penilaian dari pihak yang memahami ilmu pengelolaan sampah inilah yang diharapkan menjadi *input* dalam penelitian.

4. Praktisi

Pihak praktisi meliputi operator atau pihak yang melakukan pengomposan sampah, minimal dalam skala komunal atau perumahan, secara langsung. Pendapat dan penilaian dari pihak yang berpengalaman melakukan kegiatan pengomposan, merupakan salah satu pertimbangan dalam pengambilan data ini.

Penyusunan Kuesioner

Kuesioner disusun berdasarkan multikriteria yang telah ditetapkan (Tabel 1). Setiap kriteria dan subkriteria yang setingkat, dibandingkan untuk membentuk matriks perbandingan berpasangan. Nilai yang digunakan menunjukkan hubungan perbandingan antara satu elemen dengan elemen yang kedua (Tabel 2).

Kriteria	Subkriteria 1	Subkriteria 2	Subkriteria 3
Subkriteria 1	1		
Subkriteria 2		1	
Subkriteria 3			1

Gambar 2. Matriks Perbandingan Berpasangan (*pairwise comparison*)

Tabel 2. Skala Banding Berpasang

Intensitas Pentingnya (n)	Definisi
1	Kedua elemen sama penting
3	Elemen yang satu lebih penting dibanding elemen yang kedua
5	Elemen yang satu sangat penting dibanding elemen yang kedua
7	Elemen yang satu mutlak lebih penting dibanding elemen yang kedua
2, 4, 6	Nilai-nilai antara di antara dua pertimbangan yang berdekatan
Kebalikan	Jika aktivitas <i>i</i> mendapat suatu angka terhadap aktivitas <i>j</i> , maka <i>j</i> mempunyai nilai kebalikannya bila dibandingkan dengan <i>i</i>

Contoh pertanyaan:

Sepeda motor manakah yang lebih hemat bahan bakar menurut anda?

Misal: jika anda berpendapat

Suzuki “lebih hemat” dibandingkan Yamaha, maka $n = 1/3$.

Honda “mutlak lebih hemat” dibandingkan Suzuki, maka $n = 7$.

Honda “mutlak lebih hemat” dibandingkan Yamaha, maka $n = 1/7$

Merk Motor	Suzuki	Honda	Yamaha
Suzuki		7	1/3
Honda			1/7
Yamaha			

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data diperoleh dari 12 orang responden yang mewakili *stakeholder* dari pihak akademisi (dosen dan mahasiswa). Jawaban kuesioner diolah dengan menggunakan bantuan *software* Expert Choice untuk setiap responden. Hasil pengolahan data untuk setiap orang tersebut kemudian dikompilasi dalam *software* Microsoft Excel, untuk mendapatkan nilai rata-rata yang mewakili pendapat keseluruhan dari pihak akademisi.

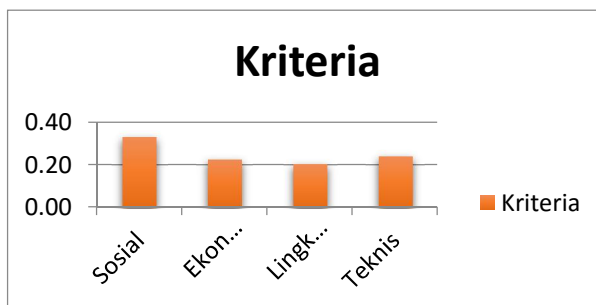
Prioritas Kriteria

Penghitungan dari matriks perbandingan berpasangan akan menghasilkan nilai sintesa yang merupakan prioritas dari kriteria, subkriteria, dan alternatif tersebut.

Penghitungan hasil pengolahan data dari pihak responden menunjukkan bahwa faktor sosial merupakan prioritas yang utama dalam menentukan aplikasi suatu teknologi (Tabel 3). Faktor sosial memiliki nilai prioritas tertinggi (0,33), disusul oleh faktor teknis (0,24), faktor ekonomi (0,23), dan faktor lingkungan (0,2). Faktor sosial ini merupakan faktor yang berhubungan dengan manusia dan masyarakat setempat, yang merasakan dampak keberadaan suatu teknologi

Tabel 3. Nilai Prioritas Kriteria

Kriteria	Prioritas
Sosial	0.33
Ekonomi	0.23
Lingkungan	0.20
Teknis	0.24



Gambar 3. Perbandingan Prioritas Kriteria

Prioritas Subkriteria

Dalam penghitungan subkriteria, nilai prioritas dari setiap subkriteria dibandingkan secara lokal, atau dibandingkan dengan subkriteria lain yang masih dalam satu kriteria. Hasil penghitungan (Tabel 4) menunjukkan bahwa S3, E2, L1, dan T2 merupakan subkriteria yang mendapat prioritas utama dalam kriterianya masing-masing.

S3 atau kesiapan SDM dalam pengoperasian teknologi memiliki nilai prioritas lebih tinggi (0,41) daripada jumlah penyerapan tenaga kerja dan lapangan usaha (0,32) atau potensi konflik antara masyarakat dan teknologi (0,27).

Dalam kriteria ekonomi, biaya operasional (E2) memiliki nilai prioritas lebih tinggi (0,37) daripada keuntungan (0,36) ataupun nilai investasi (0,27).

Untuk kriteria lingkungan, subkriteria bau dan habitat bibit penyakit (L1) merupakan hal yang memiliki nilai prioritas tertinggi (0,43), kemudian diikuti dengan subkriteria potensi pencemaran akibat terbentuknya air lindi (0,37) dan emisi gas (0,20). Sedangkan untuk kriteria teknis, faktor pengolahan terhadap berbagai jenis sampah domestik merupakan subkriteria yang mendapat prioritas utama (0,31), baru diikuti total waktu proses (0,27), perlakuan awal terhadap bahan yang akan dikomposkan (0,26), dan kompleksitas proses (0,15).

Tabel 4. Nilai Prioritas Subkriteria

Sub Kriteria	Prioritas	Simpangan Baku
S1. Jumlah penyerapan tenaga kerja dan lapangan usaha yang ditumbuhkan	0.32	0.2003
S2. Potensi konflik antara masyarakat dan teknologi	0.27	0.1628
S3. Kesiapan SDM dalam pengoperasian teknologi	0.41	0.2101
E1. Nilai investasi	0.27	0.1161
E2. Biaya operasional	0.37	0.1417
E3. Keuntungan atau pendapatan yang diperoleh	0.36	0.1383
L1. Bau dan habitat bibit penyakit (vektor)	0.43	0.2147
L2. Emisi gas	0.20	0.0991
L3. Potensi pencemaran yang diakibatkan karena terbentuknya lindi	0.37	0.2041
T1. Perlakuan awal sebelum pengomposan	0.26	0.1542
T2. Efektivitas pengolahan terhadap berbagai jenis sampah organik	0.31	0.1622
T3. Total waktu proses	0.27	0.1350
T4. Kompleksitas proses	0.15	0.1277

Prioritas Alternatif

Penilaian secara keseluruhan perlu dilakukan untuk mengetahui alternatif terbaik menurut pendapat *stakeholder*. Nilai prioritas lokal alternatif pengomposan tidak bisa dibandingkan, sehingga nilai tersebut perlu dinormalisasi terlebih dahulu untuk mendapatkan nilai prioritas global alternatif. Penghitungan normalisasi ini memasukkan nilai prioritas kriteria, nilai prioritas lokal subkriteria, dan nilai prioritas alternatif ke dalam perhitungan untuk mendapatkan nilai prioritas alternatif secara global (Tabel 5).

Tabel 5. Nilai Prioritas Alternatif secara global

Kriteria	Subkriteria	Teknologi Pengomposan				Total
		ASP aktif	ASP pasif	Windrow	Vermicomposting	
Sosial	S1	0.0272	0.0174	0.0432	0.0179	0.11
	S2	0.0263	0.0183	0.0231	0.0206	0.09
	S3	0.0246	0.0285	0.0548	0.0284	0.14
Ekonomi	E1	0.0045	0.0094	0.0269	0.0202	0.06
	E2	0.0159	0.0159	0.0285	0.0225	0.08
	E3	0.0319	0.0166	0.0217	0.0168	0.09
Lingkungan	L1	0.0385	0.0206	0.0165	0.0121	0.09
	L2	0.0151	0.0085	0.0102	0.0072	0.04
	L3	0.0265	0.0164	0.0172	0.0139	0.07
Teknis	T1	0.0189	0.0151	0.0138	0.0157	0.06
	T2	0.0290	0.0155	0.0158	0.0152	0.08

	T3	0.0245	0.0138	0.0133	0.0146	0.07
	T4	0.0100	0.0095	0.0093	0.0068	0.04
Total		0.2929	0.2056	0.2943	0.2120	1.00

Hasil dari perhitungan (Tabel 5) menunjukkan bahwa *Windrow* (0,2943) merupakan teknologi pengomposan yang terbaik untuk diaplikasikan di Indonesia. Disusul kemudian oleh *Aerated Static Pile* (ASP) aktif (0,2929), *Vermicomposting* (0,212) dan ASP pasif (0,2056).

Kelebihan dan Kekurangan Alternatif

Penilaian kelebihan dan kekurangan masing-masing alternatif dilakukan dengan mengurutkan nilai prioritas lokal alternatif yang terdapat pada setiap subkriteria. Nilai prioritas yang tinggi mengindikasikan kelebihan alternatif tersebut, dan begitu juga sebaliknya.

Tabel 6. Nilai Prioritas Alternatif secara lokal

	ASP aktif	ASP pasif	Windrow	Vermicomposting
S1	0.2569	0.1648	0.4090	0.1694
S2	0.2979	0.2075	0.2612	0.2334
S3	0.1803	0.2090	0.4022	0.2088
E1	0.0734	0.1547	0.4409	0.3312
E2	0.1916	0.1923	0.3443	0.2718
E3	0.3909	0.2035	0.2658	0.2063
L1	0.4384	0.2343	0.1883	0.1374
L2	0.3688	0.2078	0.2485	0.1749
L3	0.3574	0.2213	0.2313	0.1876
T1	0.2979	0.2373	0.2178	0.2468
T2	0.3835	0.2055	0.2091	0.2016
T3	0.3704	0.2088	0.2005	0.2203
T4	0.2814	0.2652	0.2613	0.1918

Hasil penghitungan kemudian diurutkan dimulai dari nilai tertinggi sampai dengan nilai terendah. Berdasarkan nilai tersebut, bisa diketahui kelebihan dan kekurangan alternatif teknologi pengomposan (Tabel 7).

Tabel 7. Kelebihan dan Kekurangan

Teknologi	Kelebihan	Kekurangan
ASP aktif	L1, E3, T2	E1
ASP pasif	T4	E1, S1, E2
<i>Windrow</i>	E1, S1, S3	L1
<i>Vermicomposting</i>	E1, E2, T1	L1, S1, L2, L3

Berdasarkan pendapat para responden, *Aerated Static Pile* (ASP) aktif memiliki kelebihan dalam pengendalian bau dan habitat bibit penyakit (L1), keuntungan atau

pendapatan yang diperoleh (E3), dan efektivitas pengolahan terhadap berbagai jenis sampah organik (T2). Tapi juga memiliki kekurangan dalam nilai investasi (E1).

Windrow memiliki kelebihan dalam nilai investasi (E1), jumlah penyerapan tenaga kerja dan lapangan usaha (S1), dan perlakuan awal sebelum pengomposan (T1). Namun jenis ini juga memiliki kelemahan dalam hal bau dan habitat bibit penyakit (vektor).

Aerated Static Pile (ASP) pasif memiliki kelebihan dalam hal kompleksitas proses (T4), namun memiliki kekurangan dalam hal nilai investasi (E1), jumlah penyerapan tenaga kerja dan lapangan usaha (S1), dan biaya operasional (E2).

Vermicomposting memiliki kelebihan dalam nilai investasi (E1), biaya operasional (E2), dan perlakuan awal sebelum pengomposan (T1), tapi juga memiliki kelemahan dalam hal aspek lingkungan (L1, L2, L3) dan jumlah penyerapan tenaga kerja dan lapangan usaha (S1).

4. KESIMPULAN

Analytical Hierarchy Process (AHP) merupakan metode yang sangat berguna untuk digunakan dalam memecahkan masalah yang rumit dan kompleks. Namun hasil dari penilaian metode ini sebaiknya harus disesuaikan juga dengan kondisi daerah setempat. *Windrow* merupakan teknologi pengomposan yang paling sesuai untuk diaplikasikan di Indonesia, berdasarkan pendapat kelompok akademisi. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa teknologi yang diinginkan lebih diutamakan pada aspek sosial.

DAFTAR PUSTAKA

- Marashlian, Natasha. 2004. *The effect of wood disposer on municipal waste and wastewater management*. Waste Management Research 2005; 23; 20.
- Huang, Qifei. 2005. *The current situation of solid waste management in China*. J Mater Cycles Waste Management DOI 10.1007/s10163-005-0137-2.
- Alberta Environment. 1999. *Midscale composting manual*. Olds College Composting Technology Centre.
- Saaty, Thomas. 2004. *Decision Making-The Analytic Hierarchy and Network Process (AHP/ANP)*. Journal of Systems Science and Systems Engineering. Vol 13, No.1, pp1-35, March, 2004.