

PEMILIHAN TEKNOLOGI WASTE TO ENERGY UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SAMPAH (STUDI KASUS: TPA MOJOREJO KABUPATEN SUKOHARJO JAWA TENGAH)

Afrizal Abdi Musyafiq^{1*} dan Budi Nur Cahyo²

¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Informasi, Universitas Nahdlatul Ulama
Jl. Lowanu, Umbulharjo, Kota Yogyakarta 55162.

²Magister Teknik Sistem, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada
Jl. Teknik Utara, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55281.

*Email: afrizal.abdi.m@gmail.com

Abstrak

Pemilihan teknologi yang tepat dalam analisa kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) merupakan salah satu langkah yang harus dilakukan agar sistem dapat berjalan sesuai dengan karakteristik sampah di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA). Penelitian ini dilakukan dengan studi kasus di TPA Mojorejo Kabupaten Sukoharjo Jawa Tengah. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui kapasitas sampah yang masuk ke TPA Mojorejo dari beberapa sumber timbulan sampah yang sudah terlayani setiap harinya dan melakukan tinjauan tentang kelayakan teknologi PLTSa yang akan dipilih dengan metode Grid Analysis (GA) dan dapat diaplikasikan di TPA Mojorejo. Metode penelitian ini adalah pemilihan sampel sampah dilakukan secara acak. Sampel sampah yang dipilih dari jumlah masuk ke TPA Mojorejo setiap bulannya diproses untuk dilakukan pemilahan sampah berdasarkan karakteristiknya. Hasil pemilahan sampel sampah berupa sampah bakar dan tidak bakar. Pemilihan teknologi dilakukan dengan metode GA. Faktor-faktor yang disajikan dalam pertimbangan pemilihan teknologi PLTSa di TPA Mojorejo adalah kapasitas sampah masuk, ketersediaan teknologi, luas area TPA, efisiensi proses, dan reduksi volume sampah. Teknologi yang dijadikan pilihan adalah pirolisis/gasifikasi; insenerator; hidrotermal; anaerobic digestion; dan landfill. Hasil pengambilan keputusan dalam pemilihan teknologi waste to energy untuk PLTSa di TPA Mojorejo adalah teknologi hidrotermal.

Kata kunci : *Grid Analysis, Pemilihan Teknologi, PLTSa, TPA Mojorejo, waste to energy*

1. PENDAHULUAN

Sampah selama ini menjadi persoalan di kota-kota besar yang segera membutuhkan pemecahan. Penanganan sampah yang dibutuhkan saat ini adalah penanganan dengan konsep *zero waste* atau dengan kata lain penanganan yang dapat mengurangi volume sampah, bukan sekedar menimbun sampah atau yang sering dikenal dengan *landfill* (Aydi, 2012). Salah satu gagasan yang mengemuka dalam upaya pengurangan sampah adalah dengan memanfaatkan sampah menjadi energi listrik dengan konsep *waste to energy* (WTE). Untuk mempertimbangkan rencana pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa), terlebih dahulu harus dilakukan studi kelayakan awal yang mencakup aspek lingkungan, aspek transportasi, aspek tata ruang, dan aspek finansial (Widyawidura dan Ponggoh, 2016). Ada beberapa teknologi dalam pengelolaan sampah untuk PLTSa (Jain dkk, 2014) yaitu *anaerob digestion* (Robert dkk, 2016); *landfill* (M. Jibrin dan Shazia, 2015); pirolisis/gasifikasi (Yousheng dkk, 2016); hidrotermal (Veronica dkk, 2017); dan insenerator (Thomas dkk, 2015). Menurut Undang - Undang Nomor 18 Tahun 2008 menyebutkan bahwa sampah adalah sisa kegiatan sehari-hari manusia dan/atau proses alam yang berbentuk padat. Sampah secara umum dapat diartikan sebagai limbah atau buangan yang bersifat padat, setengah padat yang merupakan hasil sampingan dari kegiatan perkotaan atau siklus kehidupan manusia, hewan, maupun tumbuh-tumbuhan.

Kabupaten Sukoharjo menyumbang luas wilayah 1,43% dari total wilayah Jawa Tengah dengan total 12 kecamatan seluas 466,66 km². Berdasarkan luas area yang dimiliki Kabupaten Sukoharjo, ternyata cukup mampu mengalokasikan lahan dengan luas yang cukup untuk kebutuhan pengelolaan sampah. Kabupaten Sukoharjo memiliki lahan pembuangan akhir sampah yakni hanya 3,58 ha yang terletak di TPA Mojorejo Desa Mojorejo Kecamatan Bendosari Kabupaten Sukoharjo. Batas wilayah TPA Mojorejo Kabupaten Sukoharjo disisi utara adalah Dukuh Losari dan Dukuh Sambilitung, disisi timur adalah Dukuh Tempurejo, disisi Selatan adalah Desa Menisharjo, dan disisi barat adalah Dukuh Masan.

TPA Mojorejo terletak di jalan Mulur–Puhgogor Desa Mojorejo Kecamatan Bendosari. Secara geografis TPA Mojorejo terletak pada 7°41'58.8" LS dan 110°54'22.3" BT. Berdasarkan pengukuran jarak dengan menggunakan google maps, jarak TPA Mojorejo dengan pusat pemerintahan daerah Kabupaten Sukoharjo adalah ± 8,7 km; jarak TPA Mojorejo dengan Puskesmas Bendosari adalah ± 5,1 km; jarak TPA Mojorejo dengan sungai terdekat adalah ± 27,35 m; dan jarak TPA Mojorejo dengan pantai adalah ± 59,38 km. Sungai/irigrasi yang tepat melewati dekat TPA Mojorejo perlu di pantau secara terus menerus kadar BOD/COD nya karena pengaruh tercemarnya air lindi dari TPA Mojorejo sangat rentan sekali terjadi, hal ini dapat menyebabkan terjadinya penyebaran sumber penyakit melalui air. Luas TPA Mojorejo yang sebesar 3,58 ha yang terdiri dari zona aktif, zona nonaktif, taman, stok tanah urug, pengelolaan air lindi, serta sarana operasional seperti kantor, garasi, area pemilahan, area pengkomposan, gazebo, jembatan timbang, musholla, dan lain-lain.

2. METODOLOGI

2.1. Pengambilan data sampel sampah

Pengambilan data dilakukan dengan beberapa sampel sampah yang tersedia di TPA Mojorejo. Sampel sampah adalah perwakilan dari jumlah seluruh sampah yang masuk ke TPA setiap harinya dan diteliti di lapangan. Jumlah total sampah yang masuk TPA dan sudah direkap oleh petugas pencatat lapangan selama 1 bulan Penuh. Timbulan sampah yang masuk pada TPA Mojorejo berasal dari sebaran Tempat Penimbunan Sampah (TPS) di Kabupaten Sukoharjo yang disediakan di beberapa titik tertentu seperti komplek perumahan, komplek perkantoran, komplek sekolah, komplek rumah sakit, bandara, pasar, taman, dan lain-lain.

Teknik pengambilan sampel dalam penelitian ini adalah probabilitly sampling atau pengambilan secara acak, artinya setiap anggota sampel dari populasi memiliki kesempatan dan peluang yang sama. Teknik probabilitly sampling yang digunakan adalah metode simple random sampling atau pengambilan acak sederhana. Kelebihan metode ini adalah dapat mengatasi bias yang muncul dalam pemilihan anggota sampel dan kemampuan menghitung standarderror. Kekurangan metode ini adalah tidak adanya jaminan bahwa setiap sampel yang diambil secara acak akan merepresentasikan populasi secara tepat (Neuman, 2014).

Sampel sampah yang dipilih dari jumlah sampah masuk setiap bulan sebesar 5.000 kg pada penelitian ini. Pemilahan sampah dilakukan sebanyak 5 hari secara acak, sehingga didapatkan jumlah sampel sebesar 1000 kg/hari. Setiap proses pemilahan dipilih secara acak truk sampah yang masuk untuk dilakukan pemilahan komposisi sampah. Setiap truk dilakukan 3 kali proses pengulangan pada pemilahan komposisi sampah, sehingga jumlah sampel sampah yang harus dikumpulkan sebesar 600 kg/truk. setiap sampel sampah yang sudah terkumpul dimasukkan ke dalam terpal bagor sebesar 200 kg. Data sampel yang sudah didapatkan, kemudian dicatat untuk dikumpulkan sementara dengan susunan tabel yang sudah dibuat. Data pada tabel terdiri dari informasi cuaca hari sebelumnya dan pada saat pengambilan data, sumber timbulan sampah berasal, dan komposisi sampah. Komposisi sampah dibagi menjadi 2 jenis yaitu sampah bakar dan sampah tidak bakar, masing–masing komposisi sampah dibagi lagi menjadi sampah bakar organik dan nonorganik serta sampah tidak bakar organik dan nonorganik.

2.2. Pemilihan teknologi dengan metode *grid analysis* (GA)

Grid analysis atau decision matrix analysis merupakan sebuah teknik yang sangat bermanfaat dalam proses pengambilan keputusan. Matrik keputusan adalah alat yang sangat efektif dalam memiliki alternatif dengan beberapa faktor yang harus diperhitungkan. Langkah awal dari metode ini adalah membuat daftar pilihan-pilihan keputusan yang dapat diambil pertimbangannya, berikut dengan faktor-faktor yang mempengaruhinya. Susunlah pilihan-pilihan tersebut ke dalam sebuah lembar kerja, dengan "Pilihan" pada label baris dan "Faktor" pada label kolom. Langkah selanjutnya adalah mengolah tabel yang sudah dibuat. Memberi skor pada setiap opsi pada masing-masing faktor penting dalam keputusan. Berilah skor pada tiap pilihan dari 0 (buruk), 1 (biasa), 2 (baik), dan 3 (sangat baik). Ingatlah bahwa tidak harus memberikan nilai yang berbeda untuk setiap opsi, jika tidak ada opsi yang baik bagi faktor-faktor tertentu, maka semua opsi sebaiknya di beri skor 0 (Pohan, 2010). Menggunakan grid analysis berarti dapat mengambil keputusan dengan penuh percaya diri dan rasional, pada saat beberapa pengambil keputusan

mungkin berjuang untuk membuat keputusan. Walaupun ini terdengar rumit, teknik ini sebenarnya cukup mudah digunakan. Berikut adalah langkah – langkah dalam membuat grid analysis pada Tabel 1.

Tabel 1. Langkah – langkah dalam Membuat Grid Analysis

Tahapan	Proses
Langkah 1	Daftarkan semua pilihan–pilihan yang sudah direkomendasikan pada label baris, dan faktor–faktor yang menjadi pertimbangan pada label kolom. Beri nilai pada masing–masing kolom pilihan dengan nilai yang sebenarnya
Langkah 2	Beri masing–masing nilai pada kolom table dengan opsi nilai dari 1 (<i>poor</i>) sampai 5 (<i>excellent</i>). Perhatikan bahwa setiap kolom tidak harus memiliki skor yang berbeda untuk masing–masing pilihan. jika tidak satupun dari pilihan yang baik untuk faktor tertentu dalam suatu keputusan, maka pilihan tersebut bisa bernilai 0.
Langkah 3	Berikan <i>weighting factor</i> dengan nilai tertentu untuk setiap faktor–faktor yang dipertimbangkan dari beberapa kolom
Langkah 4	Kalikan antara langkah 2 dan langkah 3, hasilnya dijumlah untuk setiap kolom tabel, kemudian nilai yang keluar bisa dijadikan suatu pertimbangan untuk setiap faktor
Langkah 5	Pilihlah nilai tertinggi pada hasil perhitungan langkah 4 sebagai bahan pertimbangan untuk mengambil keputusan

Hasil analisa kelayakan sampah yang sudah dilakukan kemudian bisa digunakan sebagai salah satu faktor pertimbangan dalam pemilihan teknologi PLTSa yang sesuai dengan karakteristik dan komposisi sampah di TPA Mojorejo. Sampah di TPA mempunyai karakteristik dan komposisi yang sesuai dengan PLTSa menggunakan proses kerja teknologi biokimia dan teknologi termal, sehingga ada dua pilihan dalam pemilihan teknologi pada masing–masing teknologi PLTSa. Faktor-faktor yang disajikan dalam pertimbangan pemilihan teknologi PLTSa di TPA Mojorejo adalah kapasitas sampah masuk, ketersediaan teknologi, luas area TPA, efisiensi proses, dan reduksi volume sampah.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sampah yang masuk ke TPA Mojorejo diangkut oleh truk pengangkut sampah yang membawa sampah dari beberapa timbulan sampah yang tersebar di wilayah Kabupaten Sukoharjo setiap harinya. Jenis truk pengangkut sampah yang melayani pengangkutan sampah yaitu berjenis *dump truck* dan *armroll truck*. Data massa sampah masuk ke TPA Mojorejo yang digunakan adalah data sekunder pada bulan September dan Oktober tahun 2017 kemudian dilakukan untuk perhitungan rata–rata massa sampah masuk ke TPA Mojorejo setiap harinya. Hasil pengambilan data berupa sampah masuk yang berasal dari beberapa timbulan sampah seperti sampah rumah tangga; pasar; taman; industri; dan fasilitas publik berupa sampah rumah sakit, sekolah, hotel, dan pariwisata. pada September 2017 total massa sampah yang masuk sebanyak 1.923.627 kg atau setara dengan 64.120,9 kg/hari dan pada Oktober 2017 total massa sampah yang masuk sebanyak 2.433.458 kg atau setara dengan 78.498,6 kg/hari. Total massa sampah masuk selama bulan September dan Oktober 2017 sebanyak 4.357.085 kg. Hasil sampling sampah di TPA Mojorejo didapatkan persentasenya untuk masing–masing komposisi sampah di antaranya adalah sampah sisa makanan sebesar 66,97%, sampah kebun dan taman 26,81%, sampah kayu 0,54%, sampah tekstil 0,30%, sampah karet dan kulit 1,76%, sampah plastik 3,13%, sampah kertas dan karton 0,41% dan lain–lain seperti logam, pecahan kaca 0,09%. Sampah sisa makanan sangat mendominasi karena sumber samoaah dari rumah tangga juga mempunyai nilai andil yang besar di TPA Mojorejo, disusul sampah dari pasar, taman, industri, dan fasilitas publik.

Langkah awal dalam melakukan pemilihan teknologi di TPA Mojorejo adalah menyusun tabel yang ditunjukkan pada Tabel 2. dan isi Tabel dengan nilai sesungguhnya pada masing–masing pilihan setiap faktor.

Tabel 2. Metode grid analysis menampilkan pertimbangan penilaian yang sesungguhnya pada setiap faktor

FAKTOR		Kapasitas sampah masuk (Ton)	Ketersediaan teknologi	Luas area TPA (ha)	Efisiensi Proses	Reduksi volume sampah
PILIHAN TEKNOLOGI						
<i>Thermal</i>	Insinerator	131,85	mudah	3,6	cepat	> 50 ton/hari
	Pirolisis/gasifikasi	131,85	mudah sekali	3,6	sedang	21-30 ton/hari
	hidrotermal	131,85	mudah sekali	3,6	Cepat sekali	> 50 ton/hari
Bio-kimia	Anerobic digestion	131,85	mudah sekali	3,6	lambat sekali	< 10 ton/hari
	Landfill	131,85	mudah sekali	3,6	lambat	10-20 ton/hari

Tahapan selanjutnya adalah memberikan penilaian mulai dari 1 (*poor*) sampai 5 (*excellent*) pada masing-masing kolom Tabel 3. Hal ini ditunjukkan sebagai berikut:

Tabel 3. Metode grid analysis menampilkan pertimbangan penilaian faktor norma pada setiap faktor

FAKTOR		Kapasitas sampah masuk (Ton)	Ketersediaan teknologi	Luas area TPA (ha)	Efisiensi Proses	Reduksi volume sampah
PILIHAN TEKNOLOGI						
<i>Thermal</i>	Insinerator	5	4	2	4	5
	Pirolisis/gasifikasi	5	5	2	3	3
	hidrotermal	5	5	2	5	5
Bio-kimia	Anerobic digestion	5	5	2	1	1
	Landfill	5	5	2	2	2

Tahapan selanjutnya adalah memberikan penilaian *weighting factor* dengan nilai tertentu untuk setiap faktor-faktor yang dipertimbangkan dari beberapa kolom. Pemberian *weighting factor* dibedakan berdasarkan pengaruhnya dalam penilaian pertimbangan, semakin besar nilai *weighting factor* maka semakin besar pengaruhnya dalam hal pertimbangan yang efeknya akan diteruskan pada pengambilan keputusan. Hal ini ditunjukkan pada Tabel 4. sebagai berikut:

Tabel 4. Metode grid analysis menampilkan penilaian *weighting factor* pada setiap faktor

FAKTOR		Kapasitas sampah masuk (Ton)	Ketersediaan teknologi	Luas area TPA (ha)	Efisiensi Proses	Reduksi volume sampah
PILIHAN TEKNOLOGI						
<i>Weighting factor</i>		5	5	4	2	5

Tahapan terakhir adalah mengalikan antara faktor norma dan *weighting factor*, hasilnya dijumlah untuk setiap kolom tabel, kemudian nilai yang keluar bisa dijadikan suatu pertimbangan untuk setiap faktor. Hal ini ditunjukkan pada Tabel 5. sebagai berikut:

Tabel 5. Metode grid analysis menampilkan perhitungan kali antara faktor norma dengan *weighting factor*

FAKTOR		Kapasitas sampah masuk (Ton)	Ketersediaan teknologi	Luas area TPA (ha)	Efisiensi Proses	Reduksi volume sampah
PILIHAN TEKNOLOGI						
<i>Thermal</i>	Insinerator	25	20	8	8	25
	Pirolisis/gasifikasi	25	25	8	6	15
	hidrotermal	25	25	8	10	25
Bio-kimia	Anerobic digestion	25	25	8	2	5
	Landfill	25	25	8	4	10

Tahapan berikutnya adalah pengambilan keputusan untuk teknologi yang tepat di TPA Mojorejo berdasarkan perhitungan nilai tertinggi sebagai pilihan jawabannya. Teknologi insinerator mendapatkan nilai 86; teknologi pirolisis/gasifikasi mendapatkan nilai 79; teknologi hidrotermal mendapatkan nilai 93; teknologi *anaerobic digestion* mendapatkan nilai 65; dan

teknologi *landfill* mendapatkan nilai 70. Berdasarkan hasil perhitungan nilai total, maka teknologi yang tepat untuk pengelolaan waste to energy sebagai PLTSa di TPA Mojorejo adalah teknologi hidrotermal.

Teknologi Hidrotermal merupakan teknologi pengelolaan sampah dengan mengubah sampah menjadi produk yang bermanfaat dan ramah lingkungan, seperti bahan bakar padat menyerupai batu bara (sampah campuran), pupuk (organik) dan pakan ternak (dari limbah pertanian). Pengolahan dimulai dengan memasukkan bahan mentah (biomassa tercampur) kedalam reaktor, dan kemudian menyuntikkan uap jenuh sekitar 200°C dan 2 MPa ke dalam reaktor. Proses pencampuran kemudian dilanjutkan dengan proses pengadukan dalam reaktor untuk sekitar selama satu jam pada proses penahanan temperatur dan tekanan dalam reaktor. Setelah selesai waktu penahanan dan pelepasan uap, akan dihasilkan produk berupa *sludge* yang seragam (homogen) dan kemudian dapat dengan mudah dikeringkan sesuai kondisi pengeringan yang lebih baik (Liang, 2011).

Pengelolaan sampah metode teknologi hidrothermal dapat mereduksi semua jenis sampah untuk dijadikan sebagai energi pembangkit listrik dengan memanfaatkan *sludge* yang mempunyai nilai kalor setara dengan batu bara muda. *Sludge* yang sudah dikeringkan mampu digunakan sebagai bahan bakar untuk memanaskan reaktor dan dapat menghasilkan energi thermal yang kemudian dapat dikonversikan menjadi energi listrik. Metode pengelolaan sampah secara teknologi hidrotermal sudah diaplikasikan di Kota Tangerang, namun hanya untuk mereduksi sampah yang berasal dari sumber timbunan sampah rumah tangga sebanyak 25 ton/hari.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan data-data yang sudah didapatkan dari pengambilan data primer dan sekunder, apabila diasumsikan kapasitas sampah masuk di TPA Mojorejo rata-rata sebesar 100 ton/hari maka teknologi hidrotermal sudah tepat untuk diterapkan sebagai PLTSa. Hal tersebut karena keterbatasan lahan di TPA Mojorejo dan karena beberapa kelebihan dengan menggunakan teknologi hidrotermal. Kelebihan teknologi hidrotermal di antaranya adalah dapat mereduksi semua jenis sampah untuk dikonversi menjadi energi; menghasilkan *sludge* dalam jumlah yang besar dengan efisiensi yang tinggi; *sludge* dapat berupa menyerupai batu bara muda, pupuk, dan pakan ternak; dan batu bara muda yang dikeringkan dapat digunakan sebagai bahan baku sistem pembangkit. Terdapat juga beberapa kekurangan teknologi hidrotermal seperti biaya modal untuk operasional dan perawatan terlalu tinggi dan dibutuhkan tenaga yang terlatih.

DAFTAR PUSTAKA

- Aydi, A., (2012), Energy Recovery from a Municipal Solid Waste (MSW) Landfill Gas: A Tunisian Case Study, *Hydrol Current Res*, 3, pp. 1-3.
- Jain, P., Handa, K., dan Paul, A., (2014), Studies on Waste-to-Energy Technologies in India & a detailed study of Waste-to-Energy Plants in Delhi, *International Journal of Advanced Research*, 2, pp. 109-116.
- Liang Lu, Tomoaki Namioka, dan Kunio Yoshikawa, (2011), Effects of hydrothermal treatment on characteristics and combustion behaviors of municipal solid wastes, *Applied Energy*, 88, pp. 3659–3664.
- M. Jibrán S. Zuberi, dan Shazia F. Ali, (2015), Greenhouse effect reduction by recovering energy from waste landfills in Pakistan, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 44, pp. 117–131.
- Neuman, W. Lawrence, (2014), *Social Research Methods, Qualitative and Quantitative Approach Seventh Edition*, AB. Boston, New York.
- Pohan, AH., (2010), *Be A Smart Leader Rahasia di balik Keputusan CEO dan Manajer Hebat*, Pustaka Grhatama, Yogyakarta, pp. 145.
- Robert M.W. Ferguson, Frederic Coulon, Raffaella Villa, (2016), Organic loading rate: A promising microbial management tool in anaerobic digestion, *Water Research*, 100, pp. 348-356.
- Thomas Fruergaard Astrup, Davide Tonini, Roberto Turconi, dan Alessio Boldrin, (2015), Life cycle assessment of thermal Waste-to-Energy technologies: Review and recommendations, *Waste Management*, 37, pp. 104–115.

- Veronica Benavente, Andres Fullana, dan Nicole D. Berge, (2017), Life cycle analysis of hydrothermal carbonization of olive mill waste: Comparison with current management approaches, *Journal of Cleaner Production*, 142, pp. 2637-2648.
- Widyawidura, W., dan Pongoh, J. I., (2016), Potensi Waste to Energy Sampah Perkotaan untuk Kapasitas Pembangkit 1 MW di Propinsi DIY, *Jurnal Mekanika Dan Sistem Termal*, 1, pp. 21–25.
- Yousheng Lin, Xiaoqian Ma , Xiaowei Peng, Zhaosheng Yu, Shiwen Fang, Yan Lin, dan Yunlong Fan, (2016), Combustion, pyrolysis and char CO₂-gasification characteristics of hydrothermal carbonization solid fuel from municipal solid wastes, *Fuel*, 181, pp. 905–915.