

LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA) PENGOLAHAN SAMPAH PROSES TERMAL PADA TEMPAT PEMROSESAN AKHIR (TPA) SUPIT URANG KOTA MALANG

Dewa Indra Luqmana Budiono dan Naniek Ratni J. A. R.

Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur

Email: nanik_rjar@upnjatim.ac.id

ABSTRAK

Kota Malang memiliki jumlah penduduk yang ditiap tahun meningkat, menyebabkan jumlah timbulan sampah dihasilkan oleh penduduk maupun fasilitas umum meningkat. Sampah diangkut ke Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) sampah Supit Urang berlokasi di Kecamatan Sukun, Kota Malang, saat ini pengolahan masih menggunakan metode *Controlled landfill* sehingga dibutuhkan lahan luas untuk proses penimbunan. Pengambilan data timbulan sampah TPA dengan metode *load count analysis*. Analisis aspek lingkungan dilakukan dengan metode *Life Cycle Assessment*, input dan output proses digunakan software SimaPro v.9.0.0.47. Pada tahap analisis dibutuhkan proyeksi sampah masuk pada TPA Supit Urang yaitu 189.989 ton/tahun pada tahun 2030. Dari hasil analisa aspek teknis dihasilkan, yaitu pengolahan insinerasi sampah tercampur adalah paling baik karena hanya butuh lahan sedikit sebesar 1.385m², menggunakan 1 reaktor dan 14 orang pekerja. Untuk jenis sampah yang menghasilkan emisi paling rendah adalah *organik biowaste*. Hasil analisis dampak lingkungan dari pengolahan gasifikasi sampah organik biowaste adalah Global Warming 4,51E8 kg CO₂ eq, Ozone layer depletion 1,74E3 CFC-11 eq, Photochemical oxidation 1,11E5 C₂H₄ eq, Asidifikasi 2,21E6 kg SO₂ eq, Eutrofikasi 3,03E6 PO₄ eq.

Kata kunci: *Komposisi Sampah, Life Cycle Assessment, Pengolahan Termal, SimaPro v.9.0.0.47, TPA Supit Urang Malang*

ABSTRACT

Malang City has an increasing population every year, causing the amount of waste generated by residents and public facilities to increase. The waste is transported to the Supit Urang Final Processing Site (TPA), located in Sukun District, Malang City, currently processing is still using the Controlled landfill method so that a large area is needed for the landfill process. TPA waste generation data collection by load count analysis method. Analysis of environmental aspects was carried out using the Life Cycle Assessment method, the input and output processes used SimaPro v.9.0.0.47 software. At the analysis stage, it takes a projection of waste to enter the TPA Supit Urang, which is 189,989 tons / year in 2030. From the results of the analysis, the technical aspect is produced, namely the treatment of mixed waste incineration is the best because it only requires a small amount of land of 1,385m², using 1 reactor and 14 people. workers. For the type of waste that produces the lowest emissions is organic biowaste. The results of the environmental impact analysis of biowaste organic waste gasification processing are Global Warming 4,51E8 kg CO₂ eq, Ozone layer depletion 1,74E3 CFC-11 eq, Photochemical oxidation 1,11E5 C₂H₄ eq, Acidification 2,21E6 kg SO₂ eq, Eutrophication 3, 03E6 PO₄ eq..

Keywords: *Composition of Waste, Life Cycle Assessment, Thermal Processing, SimaPro v.9.0.0.47, TPA Supit Urang Malang*

PENDAHULUAN

Tempat Pengolahan Akhir (TPA) Supit Urang merupakan TPA terbesar di Kota Malang dengan luas 30 hektar, Kota Malang memiliki jumlah penduduk yang di tiap tahunnya meningkat, menyebabkan timbunan sampah dihasilkan penduduk maupun sampah dari fasilitas umum meningkat. Masalah yang sering terjadi di TPA Supit Urang yaitu kebakaran lahan tempat penimbunan sampah setiap tahunnya, pada tahun 2018 lahan TPA terbakar sekitar 2 hektar, dan tercatat mengalami kebakaran besar pada tahun 2019 yaitu mengakibatkan hampir 10 hektar lahan penimbunan sampah terbakar, kebaran ini terjadi akibat banyaknya timbunan sampah yang menumpuk.

Sampah yang menumpuk dan dibiarkan terbuka begitu saja pada tempat terbuka dapat menyebabkan dampak terhadap lingkungan maupun manusia serta mengurangi nilai estetika di kawasan TPA. Diperlukan teknologi alternatif yang dapat mengurangi kebutuhan lahan sekaligus memperoleh kembali energi yang terkandung dalam sampah seperti pengolahan termal (I. M. Gunamantha, 2011) Terdapat berbagai macam jenis pengolahan sampah termal yang bisa digunakan, seperti insinerasi, gasifikasi, dan pirolisis.

Dibutuhkan jenis pengolahan termal yang memiliki dampak kecil, sehingga diperlukan sebuah analisis pada tiap pengolahan termal dengan cara keseluruhan dari setiap aspek. sehingga, diperlukan sebuah metode *Life Cycle Assessment (LCA)* yaitu sistem pendekatan yang bertujuan untuk dapat mengkuantifikasi dari potensial dampak lingkungan yang akan dilakukan pada analisis dampak ini.

Untuk keperluan analisis, digunakan software SimaPro v.9.0.0.47 ini dapat, menganalisis, mengumpulkan serta dapat memantau lingkungan kinerja sebuah produk dengan proses yang dihasilkan sistematis dan transparan, sesuai dengan ISO 14040, Untuk metode *Life Cycle Assessment* yang perlukan dalam software SimaPro digunakan metode yaitu *Environmental Product Declaration (EPD)* 2007, dalam mencari sebuah kesimpulan penelitian perbandingan serta

mendapatkan interpretasi data penelitian diperlukanlah 4 skenario pengelolaan sampah di TPA Supit urang yakni skenario 0 (controlled landfill), skenario 1 (sanitary landfill, dan insinerasi), skenario 2 (sanitary landfill, dan gasifikasi) dan skenario 3 (sanitary landfill, dan pirolisis).

METODE PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan mengetahui hasil analisis potensi pencemaran dari berbagai aspek dilihat dari macam jenis pengolahan sampah pada TPA Supit Urang dengan pendekatan *Life Cycle Assessment (LCA)*. Metodologi yang di gunakan pada penelitian ini ialah sesuai Prosedur LCA yang terdiri dari empat fase (ISO 14040,1997): (1) penentuan tujuan dan ruang lingkup, yaitu menentukan tujuan studi, unit fungsi dan batasan sistem demikian pula pilihan pengolahan yang dibandingkan; (2) *Life cycle inventory (LCI)* diperlukan untuk mengkuantifikasi dan mengidentifikasi aliran bahan, energi, dan emisi yang dihasilkan dan dilepaskan pada lingkungan. (3) *Life cycle impact assessment (LCIA)*, mengklasifikasikan data LCI mengolah data dengan mengkategorikan dampak serta menggabungkan sehingga didapatkan suatu indikator kategori dampak. Indikator-indikator tersebut merepresentasikan potensi dampak lingkungan dari kategori dampak. (4) Interpretation, bertujuan untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi informasi dari hasil LCI dan LCIA sesuai dengan tujuan dan ruang lingkup yang telah ditentukan

Penelitian ini dilakukan dengan mengkombinasikan data primer, skunder dan studi literatur. Untuk perhitungan tahap fase LCI dan LCIA dalam metode LCA digunakan faktor emisi data-data relevan dan metode pengolahan yang digunakan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Densitas Sampah

Analisis diperlukan untuk mengetahui jumlah densitas sampah yang masuk pada TPA Supit Urang selama 8 hari penelitian. Analisis ini menggunakan sebuah kotak berdiameter Panjang 1 m, Lebar 1 m serta tinggi 50 cm sesuai dengan SNI.

Tabel -1 Data Hasil Analisa Densitas TPA Supit Urang

Hari Ke--	Tinggi. (m)	Massa. (kg)	Volume. (m ³)	Densitas. (kg/m ³)
1	0,5	99,5	0,5	199,0
2	0,48	103,8	0,48	216,3
3	0,45	97,5	0,45	218,9
4	0,5	94,6	0,5	189,2
5	0,45	102,1	0,45	226,9
6	0,49	96,8	0,49	201,6
7	0,5	98,4	0,5	196,8
8	0,48	97,6	0,48	203,3
Rata-rata				206,5

Timbulan Sampah Eksiting

Data kuantitas sampah yang masuk TPA Supit Urang diperoleh dengan dilakukannya pengamatan pada jumlah sampah yang masuk pada TPA Supit Urang selama beberapa hari penelitian. Ini disebabkan karena jembatan timbang TPA Supit Urang sedang dalam perbaikan serta dilakukan perluasan jembatan timbang, sehingga analisis kuantitas sampah dilakukan dengan dihitung dari volume sampah yang masuk pada TPA dengan sesuai jumlah armada pengangkut sampah setiap harinya pada kapasitas tiap-tiap jenis kendaraan yang beroperasi masuk kedalam TPA.

Tabel -2 Jumlah sampah masuk TPA Supit Urang

Hari	Massa Sampah (ton/hari)	Massa Sampah (kg/hari)
1	494,93	494,93000
2	490,44	490,44000
3	493,98	493,98000
4	491,89	491,89000
5	494,90	494,90000
6	495,54	495,54000
7	495,98	495,98000
8	494,89	494,89000
Rata ²	494,07	494,07000

Pada perhitungan proyeksi penduduk yang dilakukan ini dimulai dari tahun 2021 hingga pada tahun 2030, sehingga sesuai dengan bentang waktu perencanaan pengolahan termal yang direncanakan dalam penelitian ini, yaitu 10 tahun sebagai berikut:

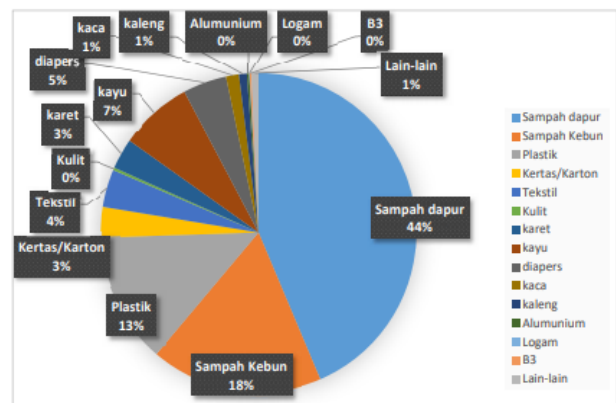
Tabel -3 Proyeksi Penduduk Kota Malang Tahun 2020-2030

No	Tahun	Jumlah Penduduk
1	2021	880.203
2	2022	885.549
3	2023	890.927
4	2024	896.337
5	2025	901.781
6	2026	907.257
7	2027	912.767
8	2028	918.311
9	2029	923.888
10	2030	929.498

Komposisi Sampah

Pada tahapan menganalisa komposisi sampah pada TPA diperlukan pengambilan sampel sampah yang dilakukan pengambilan sampah pada zona truk baru saja masuk TPA saat truk *dumping* dimana pada saat itu sampah dalam kondisi baru turun dari truk dan bertujuan untuk mendapatkan hasil yang maksimal ketika pengambilan dilakukan dihari dan saat itu juga.

Dapat diketahui bahwa komposisi sampah yang masuk pada TPA Supit Urang dengan cara dihitung merata-ratakan hasil tiap-tiap komponen dari pengkategorian jenis komposisi sampah. Sehingga komposisi sampah TPA Supit Urang sebagai berikut:



Grafik -1 Diagram perhitungan hasil persentase komposisi jenis sampah TPA Supit Urang Kota Malang

Analisis Dampak Lingkungan Pengolahan Termal

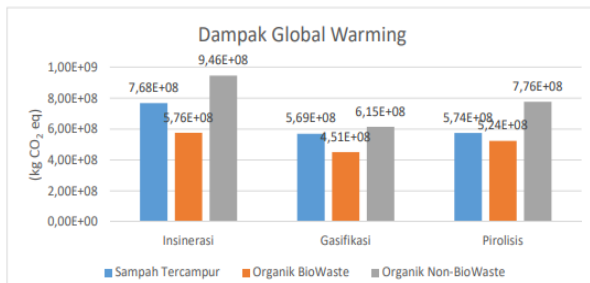
Pada analisa dampak lingkungan pengolahan termal ini dilakukan dianalisis dengan menggunakan Software SimaPro

LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA) PENGOLAHAN SAMPAH... (DEWA INDRA LUQMANA BUDIONO)

v.9.0.0.47. Analisis terbagi menjadi tiga pengolahan jenis termal yaitu (insinerasi, gasifikasi, dan pirolisis) dan semua jenis sampah yang akan masuk kedalam proses pengolahan seperti (sampah tercampur, organik Biowaste, organik *NonBiowaste*) untuk parameter yang digunakan tersebut terdapat lima parameter yang dihasilkan dan digunakan sesuai dengan metode *Environmental Product Declaration 2007* pada data database SimaPro.

Pada tiap skenario ini menggunakan fungsi unit untuk TPA Supit Urang pada tahun 2030 dari hasil proyeksi memiliki timbulan sebesar 189.989 ton/tahun, untuk timbulan di tiap harinya adalah 520,52 ton/hari dan untuk timbulan sampah tercampur sejumlah 189.989 ton/tahun, sampah organik *biowaste* 183.753 ton/tahun, sampah organik *Nonbiowaste* 76.451 ton/tahun.

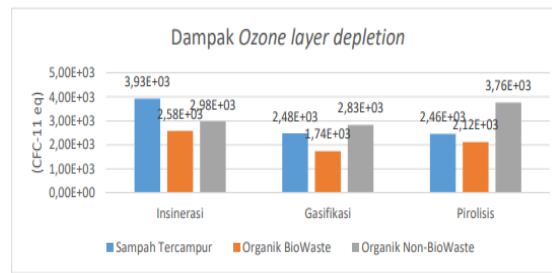
Global Warming



Grafik-2 Grafik hasil perbandingan dampak *Global Warming* Pada Pengolahan Sampah Termal

Pada grafik diatas, diketahui bahwa sampah (Organik *NonBiowaste*) memiliki angka yang rata-rata tinggi untuk hasil dampak *Global warming* ini sehingga menghasilkan angka besar, salah satu pengolahan yang memiliki angka dampak besar adalah pengolahan insinerasi. Ini di sebabkan pengaruh besar pada kandungan karbon tinggi pada jenis sampah Organik *NonBiowaste*. Selain itu jenis pengolahan yang memiliki dampak lingkungan terkecil dan memiliki hasil angka *global warming* terendah adalah Pengolahan sampah Gasifikasi dengan sampah jenis organik *biowaste*.

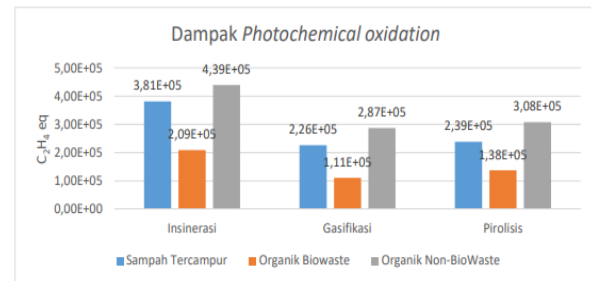
Ozon layer depletion



Grafik-3 Grafik hasil perbandingan dampak *Ozone Layer Depletion* Pada Pengolahan Sampah Termal

Dari data grafik diatas diketahui jika pengolahan gasifikasi dengan menggunakan sampah jenis organik *Biowaste* menghasilkan angka dampak *Ozone layer depletion* dengan hasil kecil. Dan pengolahan dengan dampak lingkungan dengan rata-rata tertinggi adalah insinerasi.

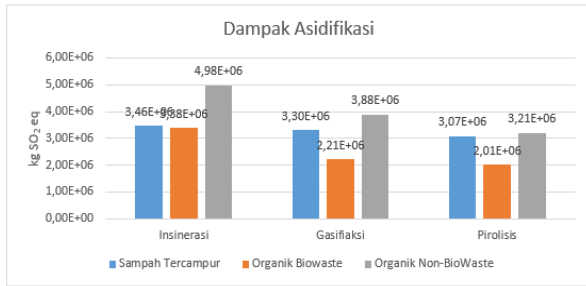
Photochemical oxidation



Grafik-4 Grafik hasil perbandingan dampak *Photochemical oxidation* Pada Pengolahan Sampah Termal

Pada Grafik diatas dapat disimpulkan dampak *Photochemical oxidation* pada pengolahan insinerasi masih menghasilkan angka yang tinggi dengan sampah organik *nonbiowaste*. Selain itu untuk hasil dampak lingkungan terkecil adalah Gasifikasi dengan dampak organik *biowaste*, salah satu faktor penyebab utama *Photochemical oxidation* ialah senyawa NO_x, CO, dan VOC. Selain itu Gasifikasi dan pirolisis juga menghasilkan emisi VOC dan NO_x lebih tinggi dari pengolahan insinerasi, meskipun pirolisis dan gasifikasi menghasilkan senyawa CO dan insinerasi tidak, akan tetapi masing-masing tidak memiliki dampak yang jauh berbeda jauh.

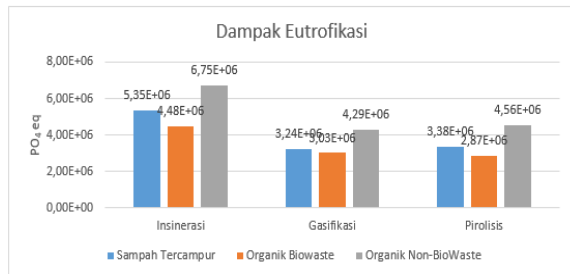
Dampak Asidifikasi



Grafik-5 Grafik hasil perbandingan dampak Dampak Senyawa Asidifikasi Pada Pengolahan Sampah Termal

Pada Grafik diatas dapat diketahui bahwa dampak penghasil senyawa penyebab Asidifikasi rata-rata paling besar adalah insinerasi dengan sampah Organik *NonBioWaste* sedangkan untuk Gasifikasi dan pirolisis memiliki nilai yang relative hampir sama. Ini disebabkan karena emisi yang dihasilkan oleh pengolahan gasifikasi dan pirolisis yaitu NOx, SOx, HCl, dan HF ialah lebih kecil daripada pengolahan Insinerasi.

Dampak Eutrofikasi



Grafik-6 Grafik hasil perbandingan dampak Dampak Senyawa Eutrofikasi Pada Pengolahan Sampah Termal

Dapat diketahui pada grafik yaitu Insinerasi dengan sampah jenis Organik *NonBioWaste* menyebabkan dampak eutrofikasi cukup besar. Sebaliknya pengolahan pirolisis dan gasifikasi memiliki dampak eutrofikasi yang kecil ini disebabkan karena pengolahan pirolisis dan gasifikasi menghasilkan emisi gas NOx yang lebih kecil daripada insinerasi. Untuk sampah organik *Biowaste* selalu menghasilkan dampak paling kecil, dikarenakan pada jenis sampah organik *Biowaste* memiliki kandungan unsur N lebih rendah daripada sampah plastik pada organik *NonBioWaste*.

Disimpulkan dari hasil analisisa dampak lingkungan pada grafik diatas

bahwa dampak terbesar yang dihasilkan pada proses pengolahan termal ialah dampak *global warming*. Faktor yang dipengaruhi adanya *global warming* ini disebabkan adanya senyawa CO dan CO2 yaitu merupakan senyawa berpengaruh pada efek *global warming* menjadi tinggi.

Dari hasil analisis ini menunjukkan bahwa sampah berjenis organik *Non-Biowaste* penghasil *global warming* paling besar. Ini disebabkan pengaruh pada jenis sampah memiliki kandungan karbon yang sangat tinggi yaitu organik *Non-Biowaste* daripada sampah jenis *biowaste*. Selain itu pada setiap keseluruhan masing-masing pengolahan termal yang memiliki dampak paling kecil pada *global warming* ialah gasifikasi. Sehingga dari tiap-tiap skenario pengolahan, gasifikasi dengan jenis sampah Organik *Biowaste* ini mendapatkan hasil dampak emisi paling kecil dibandingkan dengan metode termal lain

Uji statistika ANOVA Two-Way

Digunakan untuk menyelidiki hubungan antara variabel respon (dependen) dengan variabel predictor (independent). Dengan melakukan pengujian kesamaan mean yang di hasilkan dari beberapa populasi yang di klarifikasikan sesuai dengan variabel atau faktor-faktornya

Insinerasi

Two-way ANOVA: Insinerasi Output versus Parameter; Jenis Sampah

Source	DF	SS	MS	F	P
Parameter	4	41,4966	10,3741	19,36	0,000
Jenis Sampah	2	10,6337	5,3168	9,92	0,007
Error	8	4,2867	0,5358		
Total	14	56,4170			

Gambar-1 Uji Statistika Anova Two-Way pengaruh insinerasi terhadap parameter dan jenis sampah

Gambar diatas menunjukkan parameter dampak yang dihasilkan oleh proses termal insinerasi memiliki pengaruh pada pengolahan insinerasi, terlihat pada nilai hasil *running* yaitu p-value memiliki nilai sebesar 0,000, serta jenis sampah yang digunakan memiliki pengaruh pada pengolahan isinerasi, dapat dilihat pada nilai value sebesar 0,007 . Nilai tersebut lebih kecil dari $\alpha = 0,05$ atau 5% yang merupakan nilai ukur dari kesalahan pada tingkat

LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA) PENGOLAHAN SAMPAH... (DEWA INDRA LUQMANA BUDIONO)

keberhasilan 95%. Sehingga diperoleh kesimpulan bahwa parameter dan jenis sampah merupakan faktor yang sangat berpengaruh pada pengolahan Insinerasi.

Gasifikasi

Two-way ANOVA: Gasifikasi Output versus Parameter; Jenis Sampah

Source	DF	SS	MS	F	P
Parameter	4	22,3542	5,58856	119,60	0,000
Jenis Sampah	2	5,2731	2,63653	56,42	0,000
Error	8	0,3738	0,04673		
Total	14	28,0011			

Gambar-2 Uji statistika pengaruh Anova Two-Way pengaruh Gasifikasi terhadap parameter dan jenis sampah

Gambar diatas menunjukkan parameter dampak yang dihasilkan oleh proses termal gasifikasi memiliki pengaruh pada pengolahan gasifikasi, terlihat pada nilai hasil *running* yaitu p-value memiliki nilai sebesar 0,000, serta jenis sampah yang digunakan memiliki pengaruh pada pengolahan gasifikasi, dapat dilihat pada nilai value sebesar 0,000 . Nilai tersebut lebih kecil dari $\alpha = 0,05$ atau 5% yang merupakan nilai ukur dari kesalahan pada tingkat keberhasilan 95%. Sehingga diperoleh kesimpulan bahwa parameter dan jenis sampah merupakan factor yang sangat berpengaruh pada pengolahan gasifikasi.

Pirolisis

Two-way ANOVA: Pirolisis versus Parameter; Jenis sampah

Source	DF	SS	MS	F	P
Parameter	4	30,7278	7,68196	37,90	0,000
Jenis sampah	2	9,7583	4,87917	24,07	0,000
Error	8	1,6215	0,20269		
Total	14	42,1077			

Gambar-3 Uji statistika pengaruh Anova Two-Way pengaruh Pirolisis terhadap parameter dan jenis sampah

Gambar diatas menunjukkan parameter dampak yang dihasilkan oleh proses termal pirolisis memiliki pengaruh pada pengolahan pirolisis, terlihat pada nilai hasil *running* yaitu p-value memiliki nilai sebesar 0,000, serta jenis sampah yang digunakan memiliki pengaruh pada pengolahan pirolisis, dapat dilihat pada nilai value sebesar 0,000 . Nilai tersebut lebih kecil dari $\alpha = 0,05$ atau 5% yang merupakan nilai ukur dari kesalahan pada tingkat keberhasilan 95%. Sehingga diperoleh kesimpulan bahwa parameter dan jenis sampah merupakan factor yang sangat berpengaruh pada pengolahan pirolisis.

Selanjutnya dilakukan statistik nilai rata mean, maksimum dan minimum yang dihasilkan oleh sebuah proses termal, dari angka diatas menunjukkan jika pengolahan dengan jenis sampah biowaste adalah memiliki hasil yang kecil.

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median
Insinerasi Biowaste	5	0	3,658	0,663	1,483	2,090	2,335	3,380
Gasifikasi Biowaste	5	0	2,520	0,588	1,315	1,110	1,425	2,210
Pirolisis Biowaste	5	0	2,724	0,672	1,503	1,380	1,695	2,120

Variable	Q3	Maximum
Insinerasi Biowaste	5,120	5,760
Gasifikasi Biowaste	3,770	4,510
Pirolisis Biowaste	4,055	5,240

Gambar-4 Uji statistika pengaruh rata pengolahan termal terhadap sampah jenis *biowaste*

Gambar diatas menunjukkan variabel yang dianalisis, variabel yang digunakan adalah insinerasi biowaste, gasifikasi biowaste, dan pirolisis biowaste. Digunakan untuk mencari rata parameter dampak terendah dari masing-masing jenis pengolahan. Dapat diketahui diatas jika data parameter dampak pada jenis pengolahan gasifikasi biowaste memiliki angka mean terendah dari pengolahan lainnya yaitu 2,520, untuk nilai minimum sebesar 1,110 dan maksimum sebesar 4,510, sehingga disimpulkan jika pengolahan gasifikasi dengan sampah biowaste adalah memiliki hasil mean rata dampak parameter terendah dari jenis pengolahan lainnya.

Interpretasi Data Analisis Dampak Lingkungan

Tahap Interpretasi ini dilakukan berdasarkan hasil dari analisis pada software SimaPro. Software ini digunakan untuk mengidentifikasi pada analisis hasil dampak lingkungan dari pengolahan termal pada TPA Supit Urang. Disimpulkan dari tiga jenis pengolahan termal (insinerasi, gasifikasi, pirolisis) bahwa gasifikasi adalah merupakan metode paling baik karena dapat diketahui sebelumnya jika data parameter dampak pada jenis pengolahan gasifikasi biowaste memiliki angka mean terendah dari pengolahan lainnya dalam analisis statistik data parameter dampak yaitu 2,520, untuk nilai minimum sebesar 1,110 dan maksimum sebesar 4,510, sehingga disimpulkan jika pengolahan gasifikasi dengan sampah biowaste adalah memiliki mean rata dampak parameter terendah dari jenis pengolahan lainnya.

Untuk jenis sampah juga berpengaruh dalam sebuah proses pengolahan termal dan dibutuhkan jenis sampah organik biowaste adalah jenis sampah paling baik. Dikarenakan terdapat beberapa komponen jenis sampah yang harus disisihkan saat proses pengolahan berlangsung seperti penyisihan pada jenis sampah anorganik, maka langkah baiknya pada pengolahan termal pada TPA Supit Urang ini perlu adanya dukungan dengan fasilitas penunjang proses penyisihan.

Analisis Aspek Teknis Pengolahan Termal

Diketahui berbagai macam jenis pengolahan termal yaitu, insinerasi gasifikasi serta pirolisis mulai spesifikasi reaktor, jumlah pekerja hingga kebutuhan lahan yang diperlukan pada jenis reaktor pengolahan termal. Jika dibandingkan dengan masing-masing reaktor pengolahan, pada jenis reaktor pirolisis memiliki ukuran reaktor dan kapasitas lebih kecil dibandingkan dengan Gasifikasi ataupun Insinerasi disebabkan karena pengolahan tersebut tidak menggunakan oksigen dalam pengolahan. Sebab untuk ukuran pada reaktor lebih kecil dari reaktor lainnya, mengakibatkan reaktor jumlah yang diperlukan akan lebih banyak agar dapat memenuhi kapasitas produksi dengan jumlah sampah yang sama. Sehingga akan berdampak pada jumlah pekerja dan lahan yang digunakan untuk pengolahan ini juga menjadi lebih banyak dan besar.

Disisi lain untuk pengolahan dengan jumlah reaktor dan luas lahan yang diperlukan lebih sedikit adalah pengolahan insinerasi. Selain itu jika dilihat berdasarkan perbedaan pada input sampah masuk yang digunakan, yaitu sampah berjenis tercampur mempunyai luas lahan dan total pekerja yang sedikit daripada sampah jenis lainnya ini akan lebih diuntungkan untuk aspek teknis. Sehingga untuk pengolahan termal dengan aspek teknis yang direkomendasikan adalah metode insinerasi dengan jenis sampah tercampur

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan yang sudah dilakukan, sehingga terdapat kesimpulan pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Dari hasil melalui aspek teknis, yaitu pada pengolahan Termal Insinerasi Sampah tercampur dapat disimpulkan merupakan salah satu metode yang paling menguntungkan hal ini dikarenakan pada aspek teknis hanya menggunakan 1 reaktor proses pengolahan, serta mempekerjakan hanya 14 orang pekerja operator, dan hanya membutuhkan lahan sebesar 1.385 m² meskipun pada proses ini menghasilkan residu yang cukup banyak sehingga mengakibatkan luas lahan sanitary landfill menjadi lebih besar 15.000 m² atau 1,5 Ha, akan tetapi ukuran tersebut terbilang lebih kecil dan lebih efisien. Sehingga dapat disimpulkan bahwa ukuran tersebut masih sangat ideal untuk segi teknis.
2. Dari hasil Analisis LCA pada penelitian ini dengan data timbulan sampah pada tahun 2030 ini, menunjukkan bahwa pada pengolahan gasifikasi adalah metode terbaik dengan hasil output emisi yang paling kecil dari setiap kategori pengolahan termal lainnya. Sehingga jenis sampah pengolahan termal menghasilkan emisi paling rendah pada pengolahan termal gasifikasi adalah jenis sampah organik biowaste. Untuk hasil analisis dampak lingkungan pada pengolahan termal Gasifikasi dengan jenis sampah organik biowaste adalah Global Warming 4,51E8 kg CO₂ eq, Ozone layer depletion 1,74E3 CFC-11 eq, Photochemical oxidation 1,11E5 C₂H₄ eq, Asidifikasi 2,21E6 kg SO₂ eq, Eutrofikasi 3,03E6 PO₄ eq.

DAFTAR PUSTAKA

- Arena, U. (2012). Process and technological aspects of municipal solid waste gasification. A review. *Waste Management*, 32(4), 625–639. Badan Lingkungan Hidup Jawa Timur. (2017). Laporan Status Lingkungan Hidup Daerah Jawa Timur.

- Banar, M., Cokaygil, Z., & Ozkan, A. (2009). Life cycle assessment of solid waste management options for Eskisehir, Turkey. *Waste Management*, 29(1), 54–62.
- Chen, D., Yin, L., Wang, H., & He, P. (2014). Pyrolysis technologies for municipal solid waste: A review. *Waste Management*, 34(12), 2466–2486.
- Enviros Consulting Ltd. (2004). Review of Environmental and Health Effects of Waste Management: Municipal Solid Waste and Similar Wastes. The University of Birmingham, 420.
- Gunamantha, I. M. (2011). Memprediksi Higher Heating Value Komponen Biogenik Sampah Dari Data Analisis Ultimatnya. *Jurnal Penelitian Dan Pengembangan Sains & Humaniora*, 5(3), 236–258.
- Gunamantha, M., Fandeli, C., Tandjung, S. D., & Sarto. (2010). Life Cycle Assessment Pilihan Pengelolaan Sampah: Studi Kasus Wilayah Kartamantul Propinsi D.I. Yogyakarta. *Jurnal Manusia Dan Lingkungan*, 17(2), 78–88.
- Halkos, George and Petrou, K. N. (2016). Efficient waste management practices: A review Efficient waste management practices: A review. 71518. Hermawan, Marzuki, P. F., Abduh, M., & Driejana, R. (2013). Peran Life Cycle Analisis (LCA) Pada Material Konstruksi Dalam Upaya Menurunkan Dampak Emisi Karbon Dioksida Pada Efek Gas 3 . *Kajian Pustaka. Konferensi Teknik Sipil 7 (KonTekS 7)*, 7(KoNTekS 7), 24–26.
- ISO 14040. (2006). Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework. 3(1).
- Johansson, J., Finnveden, G., Lind, P., & Moberg, A. (2000). Life Cycle Assessments of Energy from Solid Waste. Stockholm University, Sweden.
- Litbang PU. (2009). Peraturan Pemerintah Pekerjaan Umum Republik Indonesia Tentang Penyelenggaraan Prasarana dan Sarana Persampahan Dalam Penanganan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga. 1–15.
- Martínez-Blanco, J., Colón, J., Gabarrell, X., Font, X., Sánchez, A., Artola, A., & Rieradevall, J. (2010). The use of life cycle assessment for the comparison of biowaste composting at home and full scale. *Waste Management*, 30(6), 983–994. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.02.023>
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 81 Tahun 2012 Tentang Pengolahan Sampah Rumah Tangga Dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga. (2012). 66, 37–39.
- Psomopoulos, C. S., Bourka, A., & Themelis, N. J. (2009). Waste-to-energy: A review of the status and benefits in USA. *Waste Management*, 29(5), 1718–1724.
- Rachim, T. A. (2017). Life Cycle Assessment (Lca) Pengolahan Sampah Secara Termal (Studi Kasus: Tpa Benowo, Kota Surabaya). 144.
- Shandong Tianlang Environmental Protection Technology Co., L. (2020). Customized Products Manufacturing. SNI 19-3964-1994. (n.d.). Metode pengambilan dan pengukuran contoh timbulan dan komposisi sampah perkotaan. 16.
- Yadav, P., & Samadder, S. R. (2009). Life cycle assessment of solid waste management: A Review. *Waste Manag*, 29(1), 54–62.
- Zaman, A. U. (2010). Comparative study of municipal solid waste treatment technologies using life cycle assessment method. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 7(2), 225–234.