

Studi Literatur: Pencemaran TPA Air Sebakul dan Pemanfaatan Sampah Organik Rumah Tangga dengan Biogas

Eva Satriani^{1*}, Radeni Ilyan Putra², Meistian Herizon³, Reflis⁴, Satria P Utama⁵

^{1,2,3}Program Studi Pascasarjana Pengelolaan Sumber Daya Alam Fakultas Pertanian, Universitas Bengkulu, Kota Bengkulu, Indonesia

^{4,5}Dosen Fakultas Pertanian, Universitas Bengkulu, Kota Bengkulu, Indonesia

Email: ^{1*}evasatriani1982@gmail.com, ²radeniilyanp89@gmail.com, ³herizon.mestian@gmail.com, ⁴reflis@unib.ac.id, ⁵satria_pu@yahoo.com

Abstract

The Air Sebakul Landfill (TPA Air Sebakul) in Bengkulu City is facing significant environmental pressure due to increasing waste volume and suboptimal management methods. This study aims to analyze the types of environmental pollution caused by activities at the landfill and to explore household waste management based on biogas technology. Literature review shows that the open dumping system leads to water, air, and soil pollution. Leachate from waste contaminates groundwater sources, while greenhouse gas emissions worsen air quality and impact public health. Moreover, soil quality declines due to the accumulation of hazardous substances. On the other hand, organic household waste, which makes up the majority of the city's waste composition, has high potential to be utilized as a raw material for biogas production. Biogas technology at household scale can offer a sustainable waste management solution, reducing landfill pressure while generating energy and organic fertilizer. The successful implementation of this management system requires synergy among government, community, and related institutions in the form of policies, education, and technical support to realize an environmentally friendly and sustainable waste management system in Bengkulu City.

Keywords: Air Sebakul Landfill, Environmental Pollution, Household Waste, Biogas, Waste Management.

Abstrak

TPA Air Sebakul di Kota Bengkulu menghadapi tekanan lingkungan yang signifikan akibat peningkatan volume sampah dan metode pengelolaan yang belum optimal. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis jenis pencemaran lingkungan yang ditimbulkan oleh aktivitas di TPA dan mengeksplorasi pengelolaan sampah rumah tangga berbasis teknologi biogas. Hasil studi literatur menunjukkan bahwa sistem open dumping menyebabkan pencemaran air, udara, dan tanah. Air lindi dari sampah mencemari sumber air tanah, sementara emisi gas rumah kaca memperburuk kualitas udara dan berdampak pada kesehatan masyarakat. Selain itu, kualitas tanah juga menurun akibat akumulasi zat berbahaya. Di sisi lain, sampah organik dari rumah tangga, yang merupakan komponen terbesar sampah di Kota Bengkulu, berpotensi tinggi untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku biogas. Teknologi biogas skala rumah tangga dapat menjadi solusi pengelolaan yang berkelanjutan, mengurangi beban TPA, serta menghasilkan energi dan pupuk organik. Implementasi pengelolaan ini membutuhkan sinergi antara pemerintah, masyarakat, dan lembaga terkait dalam bentuk kebijakan, edukasi, serta dukungan teknis untuk mewujudkan sistem pengelolaan sampah yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Kata Kunci: TPA Air Sebakul, Pencemaran Lingkungan, Sampah Rumah Tangga, Biogas, Pengelolaan Sampah.

1. PENDAHULUAN

Pertumbuhan penduduk yang pesat di berbagai kota di Indonesia, termasuk Kota Bengkulu, telah membawa dampak signifikan terhadap peningkatan volume sampah yang dihasilkan. Kota Bengkulu, sebagai ibu kota provinsi yang terus berkembang secara ekonomi dan sosial, mengalami lonjakan aktivitas masyarakat yang berkontribusi besar pada timbunan sampah rumah tangga. Sampah rumah tangga sendiri merupakan salah satu komponen terbesar dalam total timbunan sampah, khususnya di kawasan perkotaan. Oleh karena itu, pengelolaan sampah yang efektif dan berkelanjutan menjadi tantangan utama yang harus dihadapi oleh pemerintah daerah serta masyarakat.

Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Air Sebakul merupakan satu-satunya lokasi resmi untuk pembuangan sampah di Kota Bengkulu. Namun, dengan volume sampah yang terus meningkat—mencapai 300 hingga 500 ton per hari—kapasitas TPA seluas 3,5 hektar mulai mencapai batas maksimumnya. TPA yang telah beroperasi sejak 1991 ini masih menggunakan metode *open dumping*, yaitu metode pembuangan sampah secara terbuka tanpa pengolahan yang memadai. Praktik ini memunculkan berbagai dampak negatif seperti pencemaran udara, tanah, dan air akibat emisi gas rumah kaca serta rembesan air lindi (*leachate*) yang mengandung bahan kimia berbahaya dan patogen (Lubis et al., 2020; Apriyani & Lesmana, 2020).

Pencemaran lingkungan akibat pengelolaan TPA yang tidak berkelanjutan telah menjadi perhatian serius. Selain mempercepat degradasi kualitas lingkungan, praktik ini juga berdampak langsung terhadap kesehatan masyarakat di sekitar TPA. Gas metana (CH₄) yang dihasilkan dari sampah organik merupakan salah satu gas rumah kaca dengan potensi pemanasan global 21 kali lebih besar dibanding CO₂ (Rini et al., 2020). Oleh karena itu, pendekatan alternatif pengelolaan sampah yang berkelanjutan sangat dibutuhkan untuk mengurangi tekanan terhadap TPA dan dampaknya terhadap lingkungan.

Salah satu pendekatan yang menjanjikan adalah pemanfaatan sampah organik rumah tangga menjadi biogas melalui teknologi *biodigester*. Berdasarkan data di Kelurahan Bentiring, Kota Bengkulu, sekitar 47% dari total timbunan sampah merupakan sampah organik yang memiliki potensi besar untuk diolah menjadi sumber energi terbarukan (Sucita et al., 2020). Teknologi *biodigester* tidak hanya menghasilkan gas metana sebagai bahan bakar alternatif, tetapi juga menghasilkan residu berupa pupuk organik padat dan cair yang bermanfaat bagi pertanian berkelanjutan.

Meskipun potensi biogas dari sampah organik telah banyak disebutkan dalam berbagai studi, masih terdapat kesenjangan penelitian dalam bentuk kurangnya kajian komprehensif yang mengintegrasikan antara dampak pencemaran TPA dan peluang pemanfaatan biogas secara spesifik di wilayah perkotaan seperti Kota Bengkulu. Sebagian besar studi sebelumnya hanya berfokus pada aspek teknis produksi biogas atau pada pencemaran lingkungan, tanpa menghubungkan keduanya secara strategis dalam konteks pengelolaan sampah rumah tangga. Selain itu, belum banyak dilakukan sintesis literatur yang merangkum tantangan implementasi teknologi biogas di tingkat rumah tangga atau komunitas, khususnya di daerah dengan karakteristik sosial-ekonomi seperti Kota Bengkulu.

Studi literatur ini bertujuan untuk mengisi kesenjangan tersebut dengan menganalisis dampak pencemaran yang ditimbulkan oleh aktivitas TPA Air Sebakul dan mengeksplorasi potensi pengelolaan sampah rumah tangga berbasis teknologi biogas. Melalui sintesis berbagai sumber literatur, kajian ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang menyeluruh mengenai permasalahan yang ada, sekaligus menawarkan solusi praktis dan berkelanjutan yang dapat diterapkan di tingkat lokal.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode studi literatur (*library research*) dengan pendekatan deskriptif kualitatif. Metode ini dipilih karena sesuai dengan tujuan penelitian yang bersifat konseptual dan analitis, yaitu menganalisis fenomena pencemaran lingkungan di TPA Air Sebakul serta mengeksplorasi potensi pengelolaan sampah rumah tangga berbasis teknologi biogas tanpa melakukan pengumpulan data primer secara langsung.

Dalam pelaksanaannya, studi literatur dilakukan melalui penelusuran berbagai sumber sekunder yang relevan dan terpercaya, seperti jurnal ilmiah nasional dan internasional, laporan institusi pemerintah (misalnya Dinas Lingkungan Hidup Kota Bengkulu), buku akademik, artikel konferensi, serta laporan media daring yang membahas perkembangan teknologi biogas dan isu pengelolaan sampah di Indonesia, khususnya di Kota Bengkulu.

Agar data dan informasi yang dikaji memiliki kualitas dan relevansi yang tinggi, penelitian ini menggunakan sumber yang diterbitkan dalam 10 tahun terakhir (2013–2023), kecuali untuk referensi klasik atau sumber penting terkait teknologi dasar biogas, artikel yang membahas pencemaran lingkungan akibat TPA, teknologi biogas, pengelolaan sampah organik, dan studi kasus serupa di konteks perkotaan, sumber yang berasal dari publikasi peer-reviewed atau instansi resmi (pemerintah, universitas, LSM lingkungan), artikel populer yang tidak menyertakan rujukan ilmiah atau data pendukung, sumber yang tidak relevan dengan wilayah studi (misalnya hanya membahas pengelolaan sampah industri atau daerah pedesaan yang tidak memiliki kemiripan konteks) serta dokumen yang tidak tersedia dalam versi lengkap (hanya abstrak atau ringkasan).

Setelah pengumpulan sumber, proses analisis data dilakukan secara sistematis melalui beberapa tahap, pertama yaitu kategorisasi informasi melalui sumber literatur dikelompokkan berdasarkan dua fokus utama: (1) dampak pencemaran dari TPA Air Sebakul, dan (2) potensi serta implementasi teknologi biogas dari sampah rumah tangga, identifikasi tema dan pola dengan cara dari setiap kelompok, dilakukan identifikasi tema-tema utama seperti jenis pencemaran (air, udara, tanah), volume dan komposisi sampah, teknologi biodigester, serta dampak sosial-ekonomi dari pengelolaan biogas. Kedua yaitu mengevaluasi secara kritis dengan cara setiap sumber dianalisis berdasarkan kekuatan argumen, kesesuaian konteks, dan kualitas data yang digunakan. Ketiga yaitu hasil dari berbagai literatur kemudian disintesis untuk membentuk pemahaman menyeluruh terhadap masalah yang diteliti. Sintesis ini bertujuan merumuskan hubungan sebab-akibat, mengidentifikasi tantangan umum, serta mengevaluasi peluang implementasi solusi.

Dengan metode ini, penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam bentuk pemetaan masalah, analisis akar penyebab, dan formulasi alternatif solusi pengelolaan sampah berbasis biogas yang aplikatif, khususnya dalam konteks Kota Bengkulu.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini membahas secara mendalam dua aspek utama dari penelitian, yaitu dampak pencemaran lingkungan yang diakibatkan oleh aktivitas di TPA Air Sebakul dan potensi pengelolaan sampah rumah tangga dengan teknologi biogas sebagai solusi pengurangan beban TPA serta sumber energi terbarukan. Analisis berdasarkan studi literatur ini memberikan gambaran komprehensif mengenai kondisi saat ini serta peluang dan tantangan pengelolaan sampah di Kota Bengkulu.

3.1 Dampak Pencemaran Lingkungan dari TPA Air Sebakul

TPA Air Sebakul merupakan satu-satunya tempat pembuangan akhir di Kota Bengkulu yang menghadapi masalah besar akibat peningkatan volume sampah yang tidak diimbangi dengan pengelolaan yang memadai. Metode pengelolaan yang digunakan sebagian besar masih berupa open dumping, dimana sampah dibuang secara terbuka tanpa sistem pengolahan yang terkontrol. Hal ini menyebabkan dampak negatif yang cukup serius terhadap lingkungan sekitar.

3.1.1 Pencemaran Air

Salah satu dampak paling signifikan dari pengelolaan sampah di TPA Air Sebakul adalah pencemaran air, khususnya akibat air lindi (*leachate*). Air lindi (*leachate*) biasanya mengandung senyawa-senyawa organik dan anorganik yang tinggi. Selayaknya benda cair, air lindi (*leachate*) akan mengalir dari tempat yang tinggi ketempat yang lebih rendah. Air lindi (*leachate*) akan merembes masuk kedalam tanah dan bercampur dengan air tanah sampai pada jarak 200 meter, ataupun mengalir di permukaan tanah dan bermuara pada aliran air sungai (Kartika et al., 2020). Hasil penelitian yang dilakukan di sekitar TPA (Tempat Pemrosesan Akhir) Air Sebakul, Kelurahan Sukarami Kecamatan Selebar Kota Bengkulu, dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan Parameter Kualitas Air (Kartika et al., 2020)

Parameter	Air Tanah Terkontrol	Air Lindi (<i>leachate</i>)	Air Sumur Warga	Baku Mutu (Permenkes No. 492 Tahun 2010)
Warna (Pt-Co)	1	>20	1	≤ 15 Pt-Co
Kekeruhan (NTU)	0,1	5	0,5	≤ 5 NTU
Bau	Tidak berbau	Bau	Tidak Berbau	Tidak Berbau
Suhu (°C)	26,0	25,8	26,1	Suhu lingkungan
pH	6,90	8,11	6,59	6,5 – 8,5
Coliform (APM/100 ml)	27	34	2	0

Berdasarkan tabel 1 di atas dapat dilihat bahwa untuk parameter bau, sampel air landi (*leachate*) berbau dikarenakan adanya dekomposisi sampah secara anaerobik yang menghasilkan senyawa berbau amis dan busuk. Dari segi kualitas kimia secara keseluruhan sampel air landi (*leachate*) memiliki pH yang paling tinggi, tingginya pH air landi disebabkan karena tingginya aktivitas fotosintesis, respirasi organisme akuatik, suhu dan keberadaan ion-ion. Parameter lainnya yaitu adanya coliform yang merupakan golongan bakteri dimana berfungsi sebagai parameter mikrobiologi terpenting bagi penentuan kualitas air bersih. Tingkat hygiene yang rendah pada keberadaan bakteri ini dapat membahayakan kesehatan.. Berdasarkan hasil penelitian tersebut kualitas air tanah pada sumur resapan di TPA Air Sebakul Kota Bengkulu nilainya telah melebihi baku mutu Permenkes No. 492 tahun 2010., dimana dapat disimpulkan bahwa timbunan sampah yang besar mempengaruhi kualitas air tanah yang ada di TPA Air Sebakul Kota Bengkulu.

Berdasarkan hasil penelitian Kartika et al. (2020a) dan Triawan et al. (2020) menunjukkan adanya keterkaitan yang kuat antara praktik *open dumping* di TPA Air Sebakul dengan meningkatnya kadar coliform serta perubahan signifikan pada parameter fisik-kimia air, seperti warna, pH, bau dan tingkat kekeruhan. Analisis tersebut tidak hanya mendeskripsikan data, tetapi juga menggarisbawahi bahwa rembesan air lindi (*leachate*) yang terbentuk dari tumpukan sampah mengandung muatan kimia dan

mikrobiologis yang tinggi. Air lindi yang tidak dikelola dengan baik ini berpotensi meresap ke dalam tanah dan mencapai lapisan air tanah, sehingga mencemari sumber air bersih masyarakat yang umumnya berasal dari sumur dangkal. Ketergantungan warga terhadap air sumur menjadikan kontaminasi ini sebagai ancaman serius terhadap kesehatan masyarakat sekitar TPA.

Lebih lanjut, sejumlah literatur epidemiologis menyebutkan bahwa paparan air tanah yang terkontaminasi logam berat dan patogen dari air lindi dapat menyebabkan gangguan kesehatan kronis, seperti kerusakan ginjal, gangguan sistem saraf, dan penyakit kulit. Dengan demikian, pencemaran air di sekitar TPA Air Sebakul tidak hanya berdampak pada penurunan kualitas lingkungan, tetapi juga berkontribusi langsung terhadap risiko kesehatan masyarakat.

3.1.2 Pencemaran Udara

Selain pencemaran air, TPA Air Sebakul juga menyebabkan pencemaran udara yang cukup signifikan. Sistem *open dumping* di TPA Air Sebakul menyebabkan emisi gas rumah kaca sebagai hasil proses dekomposisi sampah organik secara anaerobik di dalam tumpukan sampah yang menghasilkan gas metana (CH_4), karbon dioksida (CO_2), dan hidrogen sulfida (H_2S), dimana sampah organik ditumpuk tanpa pengelolaan lanjutan (Yuliyanti et al., n.d.). Gas metana, yang tidak berwarna dan tidak berbau, terbentuk dari proses pembusukan sampah dalam kondisi tanpa oksigen, dan merupakan salah satu gas rumah kaca dengan potensi pemanasan global yang tinggi. Sementara itu, hidrogen sulfida dihasilkan dari pembusukan bahan organik yang mengandung sulfur, seperti karet dan limbah makanan, yang menimbulkan bau busuk khas telur busuk (H_2S) yang sangat mengganggu kenyamanan sekitar TPA (Turangan et al., 2024).

Selain itu, konsentrasi gas metana yang tinggi di area TPA juga dapat mengurangi kadar oksigen di udara sekitar, berpotensi menyebabkan gejala kekurangan oksigen bagi makhluk hidup jika tidak dikelola dengan baik. Kondisi ini diperparah oleh tidak adanya sistem pengumpulan gas metana di TPA Air Sebakul, sehingga gas-gas tersebut dilepaskan langsung ke udara bebas.

Berdasarkan hasil penelitian lainnya menyebutkan bahwa konsentrasi H_2S di sekitar TPA Air Sebakul tercatat antara 0,03 sampai 0,05 ppm, yang masih berada di bawah ambang batas bahaya kesehatan menurut standar WHO dan NIOSH (Verta et al., 2020). Namun, meskipun konsentrasi ini relatif rendah, paparan jangka panjang terhadap H_2S tetap berpotensi menyebabkan gangguan kesehatan seperti iritasi saluran pernapasan, sakit kepala, dan gangguan fungsi paru-paru, terutama bagi masyarakat dan pemulung yang tinggal atau bekerja dekat TPA. Bau menyengat yang terus-menerus juga menurunkan kualitas udara dan kenyamanan hidup warga sekitar, serta berkontribusi pada keluhan kesehatan masyarakat.

Secara keseluruhan, sistem *open dumping* yang diterapkan di TPA Air Sebakul menyebabkan pencemaran udara yang signifikan melalui emisi gas metana dan hidrogen sulfida menimbulkan bau tidak sedap, menurunkan kualitas udara, serta berisiko terhadap kesehatan masyarakat, khususnya jika paparan berlangsung dalam jangka panjang. Pengelolaan yang lebih baik, seperti penerapan sistem *controlled landfill* dengan pengumpulan dan pemanfaatan gas metana, sangat diperlukan untuk mengurangi dampak pencemaran ini. Fakta bahwa tidak ada sistem pemanenan gas di TPA Air Sebakul menunjukkan peluang yang terlewatkan untuk mengubah limbah menjadi energi (Verta et al., 2020). Menurut hasil penelitian lainnya (Yuliyanti et al., n.d.), dampak paparan H_2S terhadap sistem pernapasan menunjukkan bahwa kondisi TPA yang tidak terkendali menimbulkan tekanan ganda: pada lingkungan dan kesehatan masyarakat.

3.1.3 Pencemaran Tanah

Air lindi (*Leachate*) adalah cairan limbah yang terbentuk akibat infiltrasi air hujan yang meresap ke dalam timbunan sampah di TPA Air Sebakul. Air hujan yang masuk ke dalam tumpukan sampah tersebut melarutkan berbagai zat kimia dan bahan organik yang terkandung dalam sampah, sehingga menghasilkan cairan berwarna gelap, berbau menyengat, dan mengandung konsentrasi tinggi bahan pencemar.

Air lindi (*Leachate*) mengandung berbagai bahan organik seperti senyawa karbon, nitrogen, dan fosfor, serta zat anorganik termasuk logam berat seperti timbal (Pb), kadmium (Cd), merkuri (Hg), dan zat berbahaya lainnya. Kandungan bahan organik yang tinggi menyebabkan nilai BOD (Biochemical Oxygen Demand) dan COD (Chemical Oxygen Demand) meningkat, yang menandakan potensi pencemaran yang besar terhadap lingkungan air.

Akumulasi limbah berbahaya yang terbawa oleh air lindi (*Leachate*) juga menyebabkan pencemaran tanah di sekitar TPA sehingga terjadi degradasi tanah dan penurunan kesuburan. Logam berat dan bahan kimia toksik yang terakumulasi di tanah mengganggu aktivitas mikroorganisme tanah dan merusak struktur tanah, sehingga menurunkan kesuburan dan produktivitas lahan (TUGAS AKHIR-RE 141581, n.d.). Hal ini berdampak negatif pada ekosistem lokal dan potensi penggunaan lahan untuk pertanian atau fungsi lain. Kerusakan ekosistem tanah ini berpotensi mempengaruhi keberlanjutan pertanian dan flora-fauna lokal, serta menimbulkan risiko bioakumulasi zat beracun melalui rantai makanan.

Selain itu, akumulasi sampah yang tidak terurai secara optimal juga menimbulkan kontaminasi fisik dan kimia yang memperburuk kualitas tanah di sekitar TPA. Sampah plastik dan bahan anorganik lainnya sulit terurai sehingga dapat bertahan bertahun-tahun dan menyebabkan degradasi lingkungan jangka panjang.

3.2 Potensi Pengelolaan Sampah Rumah Tangga dengan Teknologi Biogas

Pencemaran yang telah diuraikan di atas sebagian besar bersumber dari sampah organik yang tidak tertangani. Selain itu keunikan yang terjadi di Kota Bengkulu yaitu hanya memiliki satu TPA dan sumber sampah dominannya adalah sampah organik, berdasarkan penelitian sebelumnya. Oleh karena itu, pengelolaan sampah organik rumah tangga dengan teknologi biogas secara langsung mampu menanggulangi akar masalahnya yaitu mengurangi volume sampah organik yang masuk ke TPA Air Sebakul, menghentikan pembentukan air lindi (*Leachate*) dan gas metana secara tidak terkendali serta menghasilkan produk bermanfaat seperti energi dan pupuk organik. Secara ringkas dapat dianalisa sebagai berikut :

1. Sampah organik → sumber utama gas metana tak terkendali → diubah menjadi gas metana terkendali → menghasilkan energi → menurunkan pencemaran dan ketergantungan energi fosil.
2. Volume air lindi → diturunkan signifikan jika limbah organik tidak masuk ke TPA → kualitas air tanah meningkat.

Analisis ini memperlihatkan bahwa pengelolaan biogas berfungsi bukan hanya sebagai pemanfaatan limbah, tetapi sebagai intervensi sistemik terhadap krisis lingkungan.

3.2.1 Komposisi dan Potensi Sampah Organik

Sampah adalah sisa kegiatan sehari-hari manusia dan/atau dari proses alam yang berbentuk padat. Laju produksi sampah terus meningkat, tidak saja sejajar dengan laju pertumbuhan penduduk tetapi juga sejalan dengan meningkatnya pola konsumsi

masyarakat. Di sisi lain kapasitas penanganan sampah yang dilakukan masyarakat maupun pemerintah daerah belum optimal. Sampah yang tidak dikelola dengan baik akan berpengaruh terhadap lingkungan dan kesehatan masyarakat sekitarnya. Sampah organik adalah sampah yang berasal dari alam, seperti sisa makanan atau daun. Dengan kata lain, semua sampah yang dapat terurai dengan mudah adalah sampah organik. Sementara sampah plastik, karet, kaca dan kaleng masuk ke dalam kategori sampah anorganik. Sampah anorganik baiknya dibuang di tempat yang memiliki alat pelebur plastik atau alat daur ulang (Sucita et al., 2020) Sampah organik rumah tangga merupakan jenis limbah yang berasal dari sisa makanan, sayuran, buah-buahan, serta bahan organik lain yang mudah terurai secara alami. Komponen utama sampah organik ini meliputi: sisa makanan seperti nasi, daging, tulang, kulit, dan makanan sisa lainnya, sayuran seperti daun, batang, kulit sayur yang tidak terpakai, buah-buahan seperti kulit buah, sisa buah yang sudah tidak layak konsumsi, bahan organik lainnya seperti ampas kopi, sisa teh, dan bahan organik rumah tangga lainnya. Sifat *biodegradable* dari sampah ini memungkinkan mikroorganisme untuk menguraikan bahan organik tersebut secara alami, sehingga sangat potensial untuk diolah menjadi energi terbarukan dengan teknologi biogas.

3.2.2 Prinsip Kerja Teknologi Biogas

Biogas adalah campuran gas yang dihasilkan oleh bakteri metanogenik yang terjadi pada material-material yang dapat terurai secara alami dalam kondisi anaerobik. Pada umumnya komposisi biogas dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Komposisi Biogas (Herlambang, n.d.)

Komposisi Gas	Kisaran Persentase (%)
Metana (CH ₄)	50-70
Karbon dioksida (CO ₂)	30 - 40
Hidrogen (H ₂)	5 - 10
Gas-gas lainnya	Dalam jumlah yang sedikit

Karakteristik biogas yang paling utama yaitu gas yang tidak berwarna dan tidak berbau yang dihasilkan melalui proses fermentasi bahan-bahan organik dalam kondisi tanpa kehadiran oksigen. Biogas bersifat mudah terbakar karena mempunyai kandungan gas metana sekitar 50-70%, mempunyai nilai kalor yang cukup tinggi, sekitar 6.400 sampai dengan 6.600 kcal/m³, dimana kandungan 1 m³ setara dengan 0,62 kg minyak tanah atau 0,46 liter LPG (Adolph, 2016)

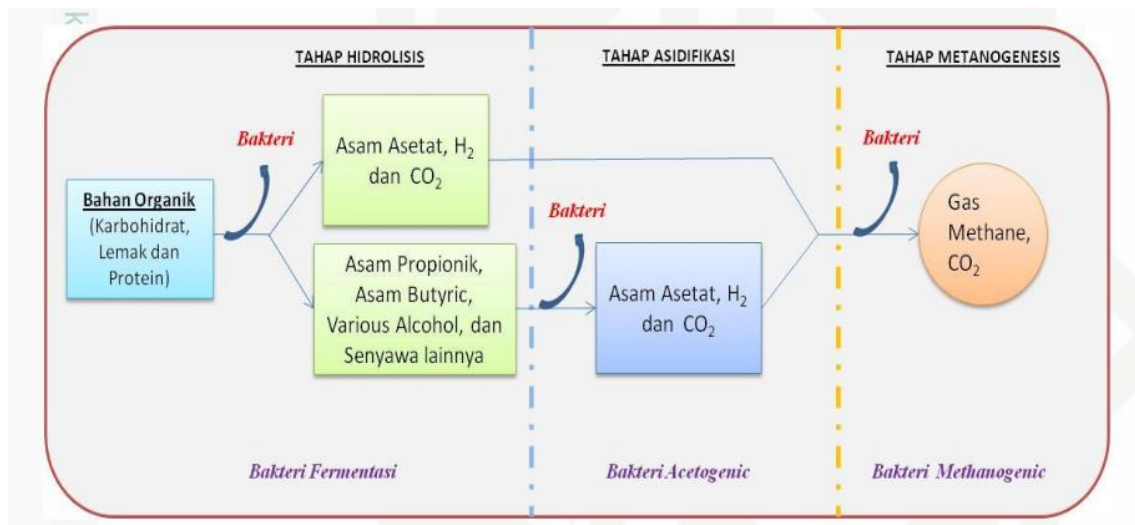
Biogas kira-kira memiliki berat 20 persen lebih ringan dibandingkan udara dan memiliki suhu pembakaran antara 650 sampai 750⁰C. Biogas yang apabila dibakar akan menghasilkan nyala api biru cerah seperti gas LPG. Nilai kalor gas metana adalah 20 MJ/m³ dengan efisiensi pembakaran 60 persen pada konvensional kompor biogas. Selain dimanfaatkan untuk bahan bakar memasak, biogas sangat potensial sebagai sumber energi terbarukan karena nilai kalor pada gas metananya tersebut. Sehingga biogas dapat dimanfaatkan untuk penerangan, proses pengeringan, untuk proses penghasil panas, untuk kendaraan bermotor dan pembangkit tenaga listrik (Gemini, 2017).

Pemanfaatan biogas mempunyai beberapa keunggulan jika dibandingkan dengan BBM (bahan bakar minyak) yang berasal dari fosil diantaranya biogas mempunyai sifat yang ramah lingkungan dan dapat diperbaharui. Bahan bakar fosil yang pembakarannya kurang sempurna menghasilkan CO₂ yang merupakan salah satu gas penyebab pemanasan global. Sampah organik yang dibiarkan menumpuk di alam terbuka dapat menghasilkan gas metana (CH₄) sebagai akibat proses pembusukan sampah yang bereaksi dengan oksigen (O₂), dimana gas metana mempunyai sifat polutan 21 kali dari sifat polutan CO₂ sehingga dengan dimanfaatkannya sampah sebagai bahan baku biogas

dapat menekan jumlah gas metana yang langsung dilepaskan ke udara karena gas metana sebagai salah satu komponen utama biogas. (Gemini, 2017).

Selain menghasilkan energi terbarukan, residu padat dan cair dari proses biogas juga dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik berkualitas tinggi, yang berguna untuk mendukung pertanian organik dan rehabilitasi lahan terdegradasi.

Secara umum, alur proses pencernaan/*digesting* limbah organik sampai menjadi biogas dimulai dengan pencernaan limbah organik yang disebut juga dengan *fermentation/digestion anaerob*. Pencernaan tergantung kepada kondisi reaksi dan interaksi antara bakteri methanogens, non-methanogens dan limbah organik yang dimasukkan sebagai bahan input/*feedstock* kedalam digester. Proses pencernaan ini (*methanization*) disimpulkan secara sederhana melalui tiga tahap, yaitu: *hidrolisis (liquefaction)*, *asidifikasi (acyd production)* dan *metanogenesis (biogas production)* seperti gambar berikut :



Gambar 1. Tiga Tahapan Proses Fermentasi Anaerob Limbah Organik
(Sumber : (Gemini, 2017))

Sesuai dengan gambar 1 diatas proses pembentukan biogas adalah sebagai berikut :

1. **Hidrolisis :** *Hidrolisis* merupakan penguraian senyawa kompleks atau senyawa rantai panjang menjadi senyawa yang sederhana. Pada tahap ini bahan-bahan organik seperti karbohidrat, lipid dan protein didegradasi menjadi senyawa rantai pendek seperti asam amino dan gula sederhana. Kelompok bakteri *hidroisa* seperti *steptococci*, *bakteriodes* dan beberapa jenis *enterobaktericeae* yang melakukan proses ini. Pada tahap ini bahan yang tidak larut seperti selulosa, polisakarida dan lemak diubah menjadi bahan larut dalam air seperti glukosa dan asam lemak. Tahap pelarutan berlangsung pada suhu 25 °C didalam *digester*. Secara umum proses *hidrolisis* adalah proses dimana bakteri memecah senyawa besar (protein, lemak, karbohidrat) menjadi senyawa kecil seperti gula dan asam amino.
2. **Asidogenesis :** *Asidogenesis* adalah pembentukan asam dari senyawa sederhana. Pada tahap ini memproses senyawa terlarut pada hidrolisis menjadi asam-asam lemak rantai pendek yang umumnya asam asetat dan asam format. Pada tahap ini bakteri asam menghasilkan asamasetat dalam suasana *anaerob*. Tahap ini juga berlangsung pada suhu 25 °C pada *digester*. Secara umum proses *asidogenesis* adalah proses mengubah senyawa kecil (gula dan asam amino) menjadi asam lemak sederhana, alkohol, dan gas.

3. *Metanogenesis* : *Metanogenesis* adalah proses pembentukan gas metan dengan bantuan bakteri pembentuk metan seperti *methanobacterium*, *methanosakaria* dan *methanococcus*. Tahap ini mengubah asam-asam lemak rantai pendek menjadi H₂, CO₂ dan asetat. Asetat akan mengalami dekarboksilasi dan reduksi CO₂ menghasilkan produk akhir, yaitu metan (CH₄) kemudian bersama-sama dengan H₂ dan karbondioksida (CO₂). Pada tahap ini, bakteri metana membentuk gas metana secara perlahan secara *anaerob*. Proses ini berlangsung selama 14 hari pada suhu 25 °C didalam digester. Pada proses ini akan dihasilkan 70% CH₄, 30% CO₂ sedikit H₂ dan H₂S. Biogas merupakan suatu gas metan yang terbentuk karena proses fermentasi secara *anaerobik* oleh metan dan *methanobacterium* atau disebut juga bakteri *anaerobic*. Secara umum proses *metanogenesis* adalah proses dimana Asam lemak diubah menjadi metana dan karbon dioksida oleh bakteri khusus (*methanogen*).

Hasil akhir dari proses pembentukan biogas adalah gas metana (CH₄) yang bisa digunakan untuk memasak dan menghasilkan listrik. Selain menghasilkan gas metana (CH₄) sebagai sumber energi utama, proses fermentasi *anaerobik* dalam *biodigester* juga menghasilkan beberapa produk sampingan yang bernilai guna tinggi, yaitu :

1. Residu Padat (*Bio-slurry* padat):
Merupakan endapan yang tersisa di dasar digester setelah fermentasi selesai. Kandungan utamanya adalah bahan organik yang belum sepenuhnya terurai, namun kaya akan nutrisi tanaman seperti nitrogen, fosfor, dan kalium. Residu ini dapat digunakan sebagai kompos padat untuk meningkatkan kesuburan tanah dan memperbaiki struktur tanah sehingga menjadi lebih gembur dan memiliki daya serap air yang tinggi, selain itu kandungan NPK dalam *bio-slurry* kering (padat) berdasarkan analisis Program BIRU (2011) adalah nitrogen (3,6%), fosfor (1,8%), dan kalium (3,6%) (Bppt & Singgih, 2018).
2. Residu Cair (*Bio-slurry* cair):
Cairan yang keluar dari biodigester mengandung unsur hara dan mikroorganisme yang bermanfaat bagi tanaman. Cairan ini dapat dimanfaatkan sebagai pupuk cair organik, baik untuk pertanian konvensional maupun pertanian organik. (Bppt & Singgih, 2018)

3.2.3 Manfaat dan Keuntungan Pengelolaan Biogas

Dilihat dari segi aspek ekologis, sosial, maupun budaya, Indonesia memiliki potensi besar dalam pengembangan biogas terutama untuk pemenuhan kebutuhan energi di kalangan rumah tangga. Hal ini turut didorong oleh beberapa kondisi seperti dibawah ini :

1. Ketersediaan bahan baku biogas, terutama yang berasal dari limbah peternakan sangat mendukung produksi biogas dalam skala industri, limbah organik rumah tangga untuk biogas skala rumah tangga. Dengan potensi yang ada, tetapi belum termanfaatkan secara maksimal.
2. Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki problematika penyediaan energi yang merata di semua wilayah. Hal ini disebabkan oleh sulitnya penyaluran bahan bakar hingga ke daerah-daerah pelosok yang belum mempunyai sarana dan prasarana penghubung memadai. Hal ini kemudian berakibat banyak wilayah pedesaan di pelosok negeri yang kesulitan memenuhi kebutuhan energinya. Contoh kasus dapat dilihat di wilayah-wilayah transmigrasi yang belum memiliki alat penerangan memadai akibat ketiadaan bahan bakar untuk penggerak mesin generator listrik.
3. Adanya regulasi nasional yang baru dibidang energi seperti kenaikan tarif dasar listrik, kenaikan harga gas elpiji, minyak tanah, dan harga sumber energi lainnya sehingga hal ini mendorong adanya upaya untuk pengadaan energi alternatif. Harapannya, energi

alternatif tersebut selain lebih terjangkau juga berkelanjutan dan ramah lingkungan. Salah satunya adalah melalui pengembangan biogas yang lebih terjangkau oleh masyarakat menengah kebawah. (Gemini, 2017).

Pengelolaan sampah organik rumah tangga dengan teknologi biogas membawa banyak manfaat, baik dari sisi lingkungan, sosial, maupun ekonomi. Dari sisi lingkungan, penggunaan biogas dapat mengurangi volume sampah yang masuk ke TPA, sehingga menekan laju pencemaran air, udara, dan tanah. Dengan berkurangnya sampah organik di TPA, emisi gas rumah kaca seperti metana juga dapat ditekan, memberikan kontribusi positif terhadap mitigasi perubahan iklim.

Dari sisi sosial ekonomi, teknologi biogas memberikan sumber energi alternatif yang lebih murah dan ramah lingkungan bagi masyarakat, terutama di daerah perkotaan dengan akses bahan bakar yang terbatas. Energi yang dihasilkan dapat mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan LPG yang harganya cenderung meningkat. Selain itu, pupuk organik hasil residu biogas dapat meningkatkan produktivitas pertanian lokal dan mengurangi kebutuhan pupuk kimia yang mahal dan berpotensi mencemari lingkungan.

Adapun contoh studi kasus tentang pengelolaan sampah organik rumah tangga dengan biogas antara lain :

1. Studi Kasus SMK Sasmita Jaya Pamulang, Tangerang Selatan (Mesin, n.d.).
Sampah organik rumah tangga berupa daun kering, sisa sayur, buah, dan makanan dimanfaatkan sebagai bahan bakar biogas menggunakan biodigester.
Proyek ini bertujuan menghasilkan energi alternatif berupa biogas sekaligus pupuk organik cair dan padat dari residu fermentasi.
Hasilnya adalah pemanfaatan sampah rumah tangga yang selama ini menjadi masalah lingkungan menjadi sumber energi dan pupuk yang bermanfaat
2. Studi Kasus TPA Cilowong, Serang, Banten (Annur et al., 2020)
Sampah organik pasar yang dibuang di TPA diolah menjadi biogas dengan digester berkapasitas 6 m³.
Biogas digunakan untuk penerangan listrik di TPA dan bahan bakar kompor di dapur umum TPA.
Kegiatan ini melibatkan mahasiswa dan pengurus TPA dalam pengelolaan dan pemanfaatan biogas dari sampah organik

3.2.4 Implementasi, Tantangan dan Solusi

Proses dan tahapan implementasi biogas skala rumah tangga adalah :

1. Persiapan Bahan Baku
Sampah organik rumah tangga seperti sisa makanan, sayuran, buah-buahan, dan limbah organik lain dicampur dengan air dengan perbandingan sekitar 1:1 untuk menghasilkan bahan fermentasi biogas (*Pembuatan Biogas Sederhana Untuk Rumah Tangga*, 2020). Bahan baku ini kemudian dimasukkan ke dalam biodigester sebagai media fermentasi anaerobik.
2. Instalasi Biodigester
Biodigester dapat berupa tangki plastik (seperti Penny Biogas Digester) atau reaktor beton/bata (model BIRU) yang dipasang di lubang galian atau di atas permukaan tanah dengan landasan yang rata dan kuat (*Cara Memasang Penny Biogas Digester Dengan Baik Dan Benar*, n.d.)(Program BIRU, 2014). Pemasangan meliputi pemasangan badan biodigester, inlet (tempat masuk bahan baku), outlet (tempat keluarnya residu

fermentasi), serta jalur pipa gas yang mengalir ke kompor biogas (Badan Litbang Pertanian, 2011). Pipa gas harus dipasang dengan rapat dan dilengkapi stop keran dan manometer untuk mengontrol aliran gas dan mencegah kebocoran (Badan Litbang Pertanian, 2011).

3. Proses Fermentasi Anaerobik

Setelah biodigester terisi bahan baku, proses fermentasi anaerobik berlangsung selama 14–21 hari untuk menghasilkan gas metana (biogas) (Roihatin et al., 2024). Mikroorganisme metanogenik menguraikan bahan organik menjadi metana dan karbon dioksida dalam kondisi tanpa oksigen.

4. Penggunaan Biogas

Biogas yang dihasilkan dialirkan melalui pipa ke kompor yang telah dimodifikasi agar dapat menggunakan biogas sebagai bahan bakar untuk memasak atau penerangan rumah tangga (Roihatin et al., 2024). Sisa fermentasi berupa lumpur (bio-slurry) dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik yang kaya nutrisi (*Pembuatan Biogas Sederhana Untuk Rumah Tangga*, 2020).

Walaupun potensi biogas sangat besar, implementasi teknologi ini di Kota Bengkulu masih menghadapi berbagai tantangan. Salah satu kendala utama adalah kurangnya kesadaran dan pemahaman masyarakat tentang manfaat biogas dan cara pengoperasian biodigester. Keterbatasan modal dan dukungan teknis juga menjadi hambatan signifikan, terutama bagi keluarga berpenghasilan rendah.

Selain itu, infrastruktur pendukung seperti sistem pemilahan sampah organik dan fasilitas pengumpulan masih belum optimal. Perlu adanya peran aktif pemerintah dan lembaga terkait dalam menyediakan pelatihan, penyuluhan, serta insentif agar masyarakat terdorong untuk berpartisipasi dalam pengelolaan sampah berbasis biogas.

Salah satu contoh program dan kebijakan yang berhasil mengembangkan pengelolaan sampah organik berbasis biogas di Indonesia adalah Sosialisasi dan Pelatihan Pengolahan Sampah Organik menjadi Biogas di Desa Suka Damai, Bone Bolango. Melalui workshop dan pelatihan, masyarakat diajarkan cara mengoperasikan biodigester sederhana untuk mengubah sampah organik menjadi biogas dan pupuk cair. Evaluasi menunjukkan peningkatan pemahaman masyarakat dari 9% menjadi 92%, mendorong kemandirian energi lokal dan pengurangan sampah organik (Harun & Lihawa, 2024)

3.3 Estimasi Potensi Biogas dan Implikasi Energi

Berdasarkan data dan kajian literatur, potensi produksi biogas dari sampah organik rumah tangga di Kota Bengkulu sangat besar. Dengan asumsi produksi sampah organik sekitar 130 ton per hari, dan rata-rata menghasilkan 100 m³ biogas per ton sampah organik, maka potensi produksi biogas dapat mencapai 13.000 m³ per hari. Ini setara dengan energi sebesar sekitar 23.600 kWh per hari, yang cukup untuk memenuhi kebutuhan energi rumah tangga dalam skala komunitas.

Implementasi teknologi biogas dalam skala rumah tangga dan komunal dapat membantu mengurangi tekanan terhadap kapasitas TPA Air Sebakul, memperpanjang umur TPA, dan mengurangi dampak pencemaran lingkungan. Dengan dukungan kebijakan dan program pemerintah yang tepat, teknologi ini juga dapat mendorong pertumbuhan ekonomi lokal dan penciptaan lapangan kerja dalam sektor energi terbarukan dan pengelolaan limbah.

4. KESIMPULAN

TPA Air Sebakul merupakan salah satu sumber pencemaran utama di Kota Bengkulu yang memengaruhi kualitas lingkungan secara signifikan, khususnya air, udara, dan tanah. Kondisi ini diperparah oleh metode pengelolaan sampah yang masih menggunakan sistem open dumping tanpa perlakuan yang memadai. Untuk mengatasi permasalahan ini, pendekatan pengelolaan sampah berbasis biogas dapat menjadi solusi yang efektif dan berkelanjutan. Sampah rumah tangga, terutama yang bersifat organik, memiliki potensi besar sebagai bahan baku energi terbarukan melalui proses biodigester. Pemanfaatan teknologi ini tidak hanya mengurangi beban TPA, tetapi juga memberikan manfaat tambahan berupa energi alternatif dan pupuk organik. Implementasi strategi ini menuntut adanya dukungan kebijakan dari pemerintah, keterlibatan aktif masyarakat, serta penguatan kapasitas teknis melalui pelatihan dan penyediaan infrastruktur. Selain itu, edukasi publik mengenai pentingnya pemilahan sampah dan penggunaan teknologi biogas juga menjadi kunci keberhasilan. Dengan sinergi antara berbagai pihak, pengelolaan sampah yang ramah lingkungan dan berkelanjutan dapat diwujudkan di Kota Bengkulu, sekaligus mendukung pencapaian target pembangunan berkelanjutan di sektor lingkungan hidup.

REFERENCES

- Adolph, R. (2016). 済無No Title No Title No Title. 1868, 1–23.
- Annur, S., Kusmasari, W., Wulandari, R., & Sumiati, S. (2020). Pengembangan Biogas Dari Sampah Untuk Energi Listrik Dan Bahan Bakar Kompor Di Tpa Cilowong, Kota Serang, Banten. *KUAT: Keuangan Umum Dan Akuntansi Terapan*, 2(1), 48–51. <https://doi.org/10.31092/kuat.v2i1.823>
- Badan Litbang Pertanian. (2011). Instalasi Biogas Skala Rumah Tangga. In *Agro Inovasi*.
- Bppt, Y., & Singgih, B. (2018). Utilization of Residu / Ampas Biogas Production from Bio-Slurry as Organic Fertilizer Resources. *Inovasi Pembangunan : Jurnal Kelitbangan*, 6(02), 139–148. <https://doi.org/10.35450/jip.v6i02.92>
- Cara Memasang Penny Biogas Digester dengan Baik dan Benar. (n.d.). <https://penny.co.id/blog/cara-pemasangan-produk/cara-memasang-penny-biogas-digester-dengan-baik-dan-benar/>
- Gemini, I. (2017). Analisa Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (PLTBg) Skala Rumah Tangga dari Sampah Organik Perumahan sebagai Sumber Energi Listrik (Studi Kasus : Masjid Perumahan Diamond Residence Pekanbaru). *UIN Sultan Syarif Kasim Riau Pekanbaru*, 7, 31124. <http://repository.uin-suska.ac.id/17975/>
- Harun, E. H., & Lihawa, F. (2024). Pemanfaatan Limbah Organik untuk Energi Alternatif : Sosialisasi dan Edukasi dalam Program Pengabdian kepada Masyarakat Utilization of Organic Waste for Alternative Energy : Socialization and Education in Community Service Programs. 2(2), 63–72.
- Herlambang, Y. D. (n.d.). Kaji Eksperimental Reaktor Biogas Tipe Floating Drum Kapasitas 350 Liter Kotoran Ternak Sapi Menggunakan Starter Em-4. *Researchgate.Net*. https://www.researchgate.net/profile/Yusuf-Herlambang/publication/306357307_KAJI_EKSPERIMENTAL_REAKTOR_BIOGAS_TIPE_FLOATING_DRUM_KAPASITAS_350_LITER_KOTORAN_TERNAK_SAPI_MENGGUNAKAN_STARTER_EM-4/links/57ba5dba08aedfe0ec96ed14/KAJI-EKSPERIMENTAL-REAKTOR-BIO
- Kartika, A., Eftiwin, L., & Walid, A. (2020). Pengaruh Sumur Resapan Terhadap Kualitas Air Tanah Di TPA Air Sebakul Kota Bengkulu. 2(2), 99–104.

Mesin, P. T. (n.d.). *STUDY OF HOUSEHOLD ORGANIC WASTE PROCESSING USING BIODIGESTER PRODUCING BIOGAS AND ORGANIC FERTILIZER IN SASMITA JAYA PAMULANG VOCATIONAL SCHOOL 1*

Pembuatan Biogas Sederhana untuk Rumah Tangga. (2020). <https://perkim.id/permukiman/pembuatan-biogas-sederhana-untuk-rumah-tangga/>

Program BIRU. (2014). *Model Instalasi Biogas Rumah Indonesia*. 40. <https://www.biru.or.id/wp-content/uploads/2021/07/03-Booth-Modul-Buku-Pedoman-Konstruksi-Terbaru.pdf>

Roihatin, A., Aulia, N. F., Hendrawati, D., Prasetyo, T., Safaruddin, Y. M., Teknik, J., Politeknik, M., Semarang, N., Tembalang, S. H., & Semarang, K. (2024). *Penerapan teknologi biodigester skala rumah tangga sebagai sarana pendukung produksi susu kambing di kuncen farm mijen*. 10(Gambar 1), 77–82.

Sucita, A., Lestari, D., & Walid, A. (2020). Pengelolaan Sampah Rumah Tangga Di Kelurahan Bentiring - Kecamatan Muara Bangkahulu - Bengkulu. *Spizaetus: Jurnal Biologi Dan Pendidikan Biologi*, 1(3), 1. <https://doi.org/10.55241/spibio.v1i3.18>

TUGAS AKHIR-RE 141581. (n.d.).

Turangan, L. T. J., Riogilang, H., & Supit, C. J. (2024). Pengaruh Penggunaan Eco-Enzyme Terhadap Kualitas Udara Di Tempat Pembuangan Akhir Sumompo Kota Manado. *Tekno*, 22(88), 1389–1397.

Verta, D., Putri, S., Putri, H., Sakti, N., & Walid, A. (2020). Pengaruh Tempat Pembuangan Akhir(TPA) Terhadap Pencemaran Udara Di lingkungan Sebakul Kota Bengkulu. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Ilmu Terapan*, 2(2), 117–122.

Yuliyanti, M., Anggraeni, D., & Setiyaningrum, I. F. (n.d.). *Kajian Analisis Pengelolaan Sampah Tempat Pembuangan Akhir (TPA) di Indonesia dan Dampaknya terhadap Kesehatan An Analysis Study of Waste Management in Final Disposal Sites (TPA) in Indonesia and Its Impact on Health*.