

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Penelitian Terdahulu**

Pada penelitian ini penulis mencari acuan dari riset-riset sebelumnya, seperti tercantum di bawah ini :

Monice, Perinov. (2016), meneliti tentang “*Analisis potensi sampah sebagai bahan baku pembangkit listrik tenaga sampah (PLTSA) di Pekanbaru*”. Energi terbarukan merupakan sumber energi alam yang dapat langsung dimanfaatkan dengan bebas. Selain itu, ketersediaan energi terbarukan ini tak terbatas dan bisa dimanfaatkan secara terus menerus. Salah satunya adalah dengan pemanfaatan sampah yang berpotensi dapat dikonversi menjadi energi listrik. Fakta menunjukkan bahwa potensi pemanfaatan sampah kota untuk pembangkit listrik sangatlah besar, baik dengan metode *Thermal* atau metode *Landfill*. Di kota Pekanbaru yang beriklim tropis, sampah yang dihasilkan sangat berpotensi sebagai bahan bakar pembangkit karena curah hujan yang sedikit. Selama ini sampah belum dimanfaatkan, hanya di tumpuk di TPA sampah Muara Fajar, Pekanbaru. Mengidentifikasi dan mengukur potensi sampah kota Pekanbaru yang bisa dimanfaatkan sebagai bahan bakar pembangkit, baik dengan teknologi *landfill* atau dengan teknologi *thermal* sebagai sumber energi listrik alternatif berbasis *renewable energy*. Menghitung energi listrik yang dapat dimanfaatkan dari potensi yang ada dari metode *landfill* dan metode *thermal*. Serta melihat peluang pemanfaatan sampah dari potensi yang tersedia selain dimanfaatkan sebagai pembangkit. Hasil dari penelitian ini di peroleh nilai energi listrik yang mampu dibangkitkan sebagai bahan baku Pembangkit Listrik Tenaga sampah (PLTSA) di Kota Pekanbaru sebagai sumber energi alternatif berbasis *renewable energy* adalah 9 MW. Energi yang dapat dijual ke PLN adalah sebesar 8MW.

Alan Nazlie Haq dkk. (2012), meneliti tentang “*Studi potensi pembangkit listrik tenaga sampah di Kota Banjarmasin*”. Pertumbuhan pembangkit listrik meningkat seiring dengan bertambahnya permintaan energi listrik. Saat ini upaya pembangkitan listrik sebagian besar masih menggunakan bahan bakar fosil yang tidak dapat diperbaharui dan tidak ramah lingkungan. Padahal potensi sumber energi terbarukan (*renewable energy*) yang tersedia sangat melimpah namun hingga kini belum tergarap secara optimal. Salah satu sumber energi terbarukan (*renewable energy*) tersebut adalah sampah. Selama ini sampah selalu dianggap sebagai masalah yang lazim ditemukan pada wilayah perkotaan. Secara umum tata kelola sampah hanya memindahkan sampah dari tempat penampungan sementara (TPS) ke tempat penampungan akhir (TPA). Perkembangan teknologi yang semakin maju memberikan solusi alternatif pengolahan sampah menjadi sumber energi. Penerapan teknologi pengolahan sampah menjadi sumber energi terbarukan (*renewable energy*) membutuhkan perencanaan yang matang. Perlu dilakukan kajian untuk menentukan layak atau tidaknya merealisasikan sebuah pembangkit listrik tenaga sampah berdasarkan potensi sampah yang tersedia. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi produksi *Landfill Gas* yang terdapat pada Tempat Penampungan Akhir (TPA) Basirih untuk dikembangkan menjadi pembangkit listrik tenaga sampah, mengetahui potensi energi listrik yang dapat dijual ke PT.PLN (Persero). Hasil dari penelitian ini diperoleh beberapa kesimpulan, kesimpulan yang pertama yaitu potensi produksi *LFG* pada TPA Basirih, jumlah energi listrik yang dapat dihasilkan oleh pembangkit, biaya investasi yang dibutuhkan untuk merealisasikan pembangkit listrik tenaga sampah.

Kukuh Siwi Kuncoro. (2008), Meneliti tentang “*Studi Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Sampah 10 Mwe di Kota Medan ditinjau dari Aspek Teknis, Ekonomi dan Lingkungan*”. Pembangunan pembangkit listrik tenaga sampah (PLTSa) merupakan solusi kebutuhan energi baru terbarukan (EBT) untuk meningkatkan kebutuhan energi serta membantu mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil. Dengan adanya pembangunan PLTSa Kota Medan 10 MWe

diproyeksikan dapat memenuhi kebutuhan energi listrik di Kota Medan khususnya dan Provinsi Sumatera Utara umumnya serta meningkatkan ketersediaan energi listrik energi terbarukan di Provinsi Sumatera Utara. PLTSA *landfill gas* merupakan Pembangkit tenaga listrik yang berwawasan lingkungan yang dapat membantu pemerintah Kota Medan dalam menangani permasalahan sampah perkotaan yang terjadi selama ini.

Nofri Dodi, Syafii dan Slamet Raharjo. (2015), meneliti tentang “*Studi Kelayakan Pembangunan Pembangkit Sampah (PLTSA) Kota Padang (Studi Kajian di TPA Air Dingin Kota Padang)*”. Seiring dengan pertumbuhan penduduknya setiap tahun dengan beraneka ragam aktifitas kehidupan masyarakatnya selalu menghasilkan sampah setiap harinya. Dibalik semua permasalahan sampah yang ada di kota Padang jika dengan memanfaatkan teknologi yang sudah semakin maju, maka sampah yang ada di TPA Air Dingin kota Padang mempunyai potensi nilai ekonomis dan nilai manfaat secara teknis. Dalam kajian penelitian ini dilakukan kajian tentang potensi yang ada pada sampah yang terdapat di TPA Air Dingin kota Padang. Terdapat 2 kajian yang digunakan dalam kajian penelitian ini. Kajian yang pertama adalah untuk menghitung estimasi kasar produksi gas bio, potensi emisi gas metan dan estimasi energi listrik yang dihasilkan dari potensi sampah yang ada di TPA Air Dingin kota Padang. Dari hasil perhitungan analisa data diperoleh hasil potensi produksi LFG yang ada di Air Dingin kota Padang sebesar 10.405,76 ton/tahun, daya listrik yang bisa dibangkitkan sebesar 3.215,67 kW dan energi listrik yang bisa dihasilkan sebesar 28.169.259,47 kWh.

Cokorde Gede Indra Partha. (2010), meneliti tentang “*Penggunaan Sampah Organik sebagai Pembangkit Listrik di TPA Suwung – Denpasar*”. Kebutuhan energi listrik di Bali khususnya, meningkat pesat. Untuk memenuhi kebutuhan itu, pemerintah berusaha membangun pembangkit baru, atau pun dengan mencoba mengembangkan pembangkit alternatif seperti pembangkit tenaga surya dan pembangkit tenaga angin. Namun disisi lain pemerintah daerah khususnya Denpasar, Badung, Gianyar dan Tabanan (Sarbagita) bergulat dengan masalah sampah yang sangat mengganggu, maka direncanakanlah untuk

membangun pembangkit listrik dengan sumber energinya berasal dari sampah. Ada berbagai cara untuk menanggulangi masalah sampah sekaligus dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik yaitu dengan pembakaran sampah dengan teknologi Thermal Converter dan penggasan dengan Teknologi Gasifikasi. Kedua teknologi ini masing-masing mempunyai kelebihan-kelebihan maupun kekurangan-kekurangan. Hasil dari penelitian ini diperoleh perhitungan besar daya listrik yang dapat dibangkitkan, dengan teknologi termal konverter rata-rata 6 MW per unit atau sama dengan 1444 MWh dan dengan teknologi gasifikasi dapat membangkitkan listrik sebesar 4,128 MW per unit atau sama dengan 99,072 MWh, dengan efisiensi pembangkitan sebesar 30%.

Syarifudin. (2012), meneliti tentang "*Analisis manfaat dan biaya pembangkit listrik tenaga sampah untuk desa terpencil di Indragiri Hilir (Studi Kasus: TPA Sei Beringin)*". Pembangkit listrik tenaga sampah (PLTSa), merupakan pembangkit yang ramah lingkungan yang dapat membantu dalam menangani permasalahan sampah perkotaan yang terjadi selama ini. Pembangunan PLTSa juga dapat menjadi salah satu solusi kebutuhan energi serta membantu mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil yang jumlahnya semakin berkurang. Dalam pengoperasiannya, PLTSa menggunakan mesin gas pembakaran dalam berbahan bakar gas yang berasal dari *landfill* (LFG). Hasil dari penelitian ini diperoleh beberapa kesimpulan, kesimpulan yang pertama yaitu memperoleh hasil analisis komposisi jenis sampah skenario 2 lebih banyak menghasilkan LFG 29% dibandingkan dengan komposisi jenis sampah pada skenario 1, kesimpulan yang kedua yaitu diperoleh biaya investasi pembuatan PLTSa.

Didik Eko Budi Santoso, Gunawan (2011), meneliti tentang "*Studi perencanaan pembangkit listrik tenaga sampah dengan teknologi dry anaerobic conversion*". Pemanfaatan sumber energi terbarukan dan peralatan konversinya semakin variatif. Sampah kota sebagai sumber masalah kebersihan, dapat ditinjau sebagai sumber energi alternative dengan teknologi yang ramah lingkungan baik proses maupun produknya. Proses penguraiannya yg diarahkan menjadi biogas menjadikan proses ini menghasilkan energi alternatif sekaligus mengurangi

volume sampah organik. Penelitian dengan mengambil data sampah kota Semarang, didasarkan pada pertumbuhan volume sampah yang semakin meningkat tajam pertahunnya. Studi perencanaan pembangkit dengan energi gas metan sebagai energi primernya disimulasikan menggunakan teknologi Dry Anaerobic Conversion, dimana dilakukan fermentasi anaerobic dalam biodigester yg membutuhkan waktu proses selama 30 hari. Diasumsikan digunakannya pre mover dengan mesin diesel sebagai penggerak alternator didapatkan potensi energi sampah yg terkandung di dalamnya dapat dibangkitkan daya sebesar 572.910 kwh, hal ini didapat dari konversi nilai volume gas metan yang terbentuk 88.140 m<sup>3</sup>. Hasil dari penelitian ini diperoleh dua kesimpulan, kesimpulan yang pertama yaitu jumlah sampah organik yang dihasilkan per hari berdasarkan jumlah penduduk. Kesimpulan yang kedua yaitu jumlah bahan bakar mesin diesel per jam yang digunakan untuk menggerakkan alternator.

## **1.2 Dasar Teori**

### **1.2.1 Pengertian Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (PLTBG)**

Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (PLTBG) adalah pembangkit listrik yang dihasilkan oleh energi yang berasal dari biogas, gas yang dihasilkan oleh aktivitas anaerobik atau fermentasi dari bahan-bahan organik cair. Kandungan utama dalam biogas adalah metana dan karbon dioksida. Biogas dapat digunakan sebagai bahan bakar kendaraan maupun untuk menghasilkan energi listrik. Salah satu sumber bahan baku biogas yang potensial untuk dimanfaatkan adalah sampah, perencanaan PLTBG sangat dipengaruhi oleh wilayah yang bersangkutan terutama kesinambungan bahan baku. Berikut adalah beberapa pengertian tentang biogas :

#### **1. Biogas**

Biogas adalah suatu jenis gas yang bisa dibakar, yang diproduksi melalui proses fermentasi anaerobik bahan organik seperti kotoran ternak dan manusia, biomassa limbah pertanian atau campuran keduanya, didalam suatu ruang pencernaan (digester). Komposisi biogas yang dihasilkan dari fermentasi tersebut terbesar adalah gas Methan (CH<sub>4</sub>) dan gas karbondioksida (CO<sub>2</sub>). Gas metan

(CH<sub>4</sub>) yang merupakan komponen utama biogas merupakan bahan bakar yang berguna karena mempunyai nilai kalor yang cukup tinggi,. Karena nilai kalor yang cukup tinggi itulah biogas dapat dipergunakan untuk keperluan sumber energi. Sistem produksi biogas juga mempunyai beberapa keuntungan seperti: (1) mengurangi pengaruh gas rumah kaca, (2) mengurangi polusi bau yang tidak sedap, (3) sebagai pupuk dan (4) produksi energi.

## 2. Karakteristik Kandungan Biogas

Untuk tulisan kali ini, ada baiknya kita bahas mengenai apa saja yang terkandung dalam biogas ini dan apa saja akibatnya terhadap sebuah system pembangkitan listrik berbasis biogas ini. Adapun Biogas mengandung beberapa komponen yaitu :

CO<sub>2</sub>, sekitar 25% sampai 50% per volume, akibat yang ditimbulkan kandungan CO<sub>2</sub> yaitu menurunkan nilai kalori, meningkatkan jumlah methane dan anti knock pada engine, menyebabkan korosi (kurangnya kandungan karbon acid) jika gas dalam keadaan basah, serta merusak alkali dalam bahan bakar biogas ini.

H<sub>2</sub>S, sekitar 0 sampai 0,5%, akibat yang ditimbulkan kandungan H<sub>2</sub>S yaitu : mengakibatkan korosi pada peralatan dan system perpipaan (stress corrosion) oleh karena itu banyak produsen mesin menetapkan batas maksimal H<sub>2</sub>S yang terkandung hanya 0,05% saja.

NH<sub>3</sub>, sekitar 0 - 0,05%, emisi NO<sub>x</sub> setelah pembakaran merusak kandungan bahan bakar biogas ini, dan meningkatkan sifat anti-knock pada engine.

Uap air, sekitar 1-5%, dapat menyebabkan korosi, resiko pembekuan, pada peralatan, instrument, plant dan system perpipaan.

Debu/ Dust, sekitar >5µm, mengakibatkan terhalangnya nozzle, dan kandungan biogas.

N<sub>2</sub>, sekitar 0-5%, akibat yang ditimbulkan yaitu mengurangi kandungan nilai kalori, dan meningkatkan anti-knock pada engine.

Siloxanes, sekitar 0-5mg m<sup>-3</sup>, mengakibatkan terjadinya abrasive dan kerusakan pada mesin.

Kombinasi dari biomassa dan CO-substrat dapat membantu dalam menurunkan kadar CO<sub>2</sub> yang dihasilkan selama proses fermentasi. Dengan FAF sebagai co-fermentasi, kandungan CO<sub>2</sub> adalah sekitar 35% – lebih rendah dari yang diperoleh dengan hanya fermentasi pupuk kandang cair (sekitar 40%). Jika jagung dan kotoran digunakan sebagai co – ferments CO<sub>2</sub> sekitar 45%.

### 3. Sistem Produksi Biogas

Sistem produksi biogas dibedakan menurut cara pengisian bahan bakunya, yaitu pengisian curah dan pengisian kontinyu :

#### a. Pengisian curah

Sistem pengisian curah (SPC) adalah cara penggantian bahan yang dilakukan dengan mengeluarkan sisa bahan yang sudah dicerna dari tangki pencerna setelah produksi biogas berhenti, dan selanjutnya dilakukan pengisian bahan baku yang baru. Sistem ini terdiri dari dua komponen, yaitu tangki pencerna dan tangki pengumpul gas. Untuk memperoleh biogas yang banyak, sistem ini perlu dibuat dalam jumlah yang banyak agar kecukupan dan kontinyuitas hasil biogas tercapai.

#### b. Pengisian kontinyu

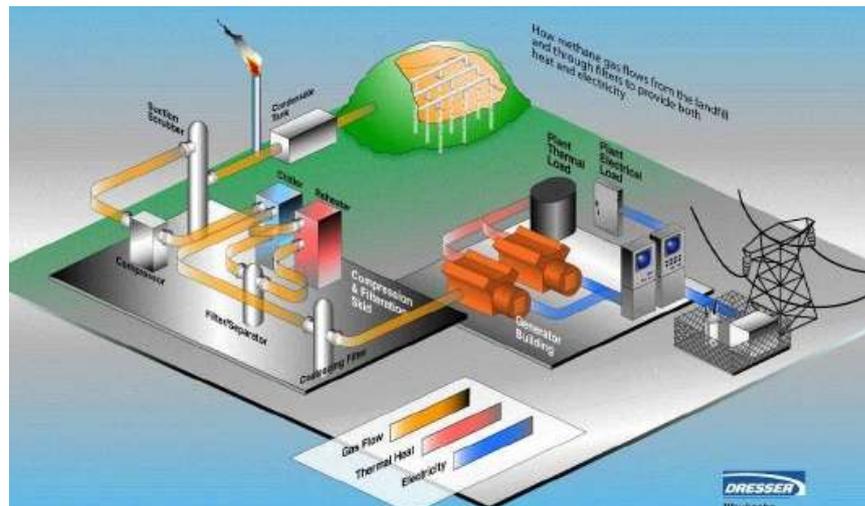
Pengisian kontinyu (SPK) adalah bahwa pengisian bahan baku kedalam tangki pencerna dilakukan secara kontinyu (setiap hari) tiga hingga empat minggu sejak pengisian awal, tanpa harus mengeluarkan bahan yang sudah dicerna. Bahan baku segar yang diisikan setiap hari akan mendorong bahan isian yang sudah dicerna keluar dari tangki pencerna melalui pipa pengeluaran. Keluaran biasanya dimanfaatkan sebagai pupuk kompos bagi tanaman, sedang cairannya sebagai pupuk bagi pertumbuhan algae pada kolam ikan. Dengan SPK, gas bio dapat diproduksi setiap hari setelah tenggang 3 - 4 minggu sejak pengisian awal. Penambahan biogas ditunjukkan dengan semakin terdorongnya tangki penyimpan keatas (untuk tipe *floating dome*). Sedangkan untuk digester tipe fixed dome penambahan biogas ditunjukkan oleh peningkatan tekanan pada manometer. Sampai pada tinggi tertentu yang dianggap cukup, biogas dapat dipakai seperlunya secara efisien.

#### 4. Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa)

Pembangkit listrik merupakan suatu rangkaian alat yang merubah energi gerak (mekanikal) yang kemudian dapat menghasilkan energi listrik, biasanya rangkaian alat terdiri dari Turbin dan Generator Listrik, sehingga dari putaran Rotor itu dihasilkan energi listrik. Sistem pembangkitan tenaga listrik yang mengubah energi alam menjadi energi mekanik yang selanjutnya menjadi energi listrik dapat dikategorikan berdasarkan bahan bakar yang digunakannya. Ada beberapa pembangkit listrik, diantaranya Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG), Pembangkit Listrik Tenaga UAP (PLTU), Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN), Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), dll.

Beberapa jenis pembangkit listrik diatas dibedakan atas dasar bahan baku yang digunakan untuk menggerakkan generator maupun turbinnya. Oleh karena itu, setiap jenis pembangkit dinamakan berdasarkan jenis bahan baku yang digunakan baik bahan bakar fosil maupun energi baru terbarukan. Pembangkitan Listrik Tenaga Sampah (PLTSa), sama halnya dengan pembangkit yang lain. Namun yang membedakan jenis pembangkit ini adalah dengan menggunakan gas. Dimana, gas ini berasal dari sampah yang mengalami penguraian secara alami dengan proses anaerobik. Gas ini merupakan gas yang secara alami dimiliki oleh setiap sampah dengan jenis organik. Sehingga pembangkit ini dinamakan pembangkit listrik tenaga sampah.

PLTSa ini adalah pembangkit yang menggunakan gas dari *landfill* hasil dekomposisi sampah, yang kemudian akan dimanfaatkan gas metana yang terkandung didalamnya sebagai bahan bakar generator (*gas engine*), yang kemudian akan menghasilkan listrik. Berikut ini adalah skema pemanfaatan LFG untuk pembangkit listrik:



Gambar 2.1 Skema pemanfaatan LFG

(Sumber: LFG Energy Project Development Handbook EPA, 2010)

Dalam gambar 2.2, bisa dilihat gas menerima beberapa proses sebelum nantinya akan digunakan sebagai bahan baku pembangkit listrik. Gas yang dihasilkan oleh *landfill* (LFG) melalui proses anaerobik, kemudian gas yang ditangkap oleh sumur gas dan dibantu untuk dinaikan ke permukaan dengan menggunakan blower. Selain gas, output yang dihasilkan dalam proses tersebut adalah air lindi (*leachate*). Dengan adanya lapisan geomembran didalam *landfill*, maka air lindi tidak akan mencemari tanah maupun air tanah yang kemudian air lindi dialirkan menuju tempat evaporator air lindi melalui pipa-pipa yang telah disediakan.

### 1.2.2 Karakteristik pembakaran biogas didalam mesin diesel

Bahan bakar biogas membutuhkan rasio kompresi yang tinggi untuk proses pembakaran sebab biogas mempunyai titik nyala yang tinggi  $645^{\circ}\text{C} - 750^{\circ}\text{C}$  dibandingkan titik nyala solar  $220^{\circ}\text{C}$ , maka mesin diesel umumnya digunakan secara *dualfuel* dengan rasio kompresi sekitar 15 – 18. Proses pembakaran pada mesin *dualfuel*, bahan bakar biogas dan udara masuk ke ruang bakar pada saat langkah hisap dan kemudian dikompresikan didalam silinder seperti halnya udara dalam mesin diesel biasa. Bahan bakar solar dimasukkan lewat nosel pada saat

mendekati akhir langkah kompresi, dekat titik mati atas (TMA) sehingga terjadi pembakaran.

Temperatur awal kompresi tidak boleh lebih dari 80 °C karena akan menyebabkan terjadinya *knocking* dan peristiwa *knocking* yang terjadi pada mesin *dualfuel* hampir sama dengan yang terjadi pada mesin bensin, yaitu terjadinya pembakaran yang lebih awal akibat tekanan yang tinggi dari mesin diesel. Hal ini disebabkan karena bahan bakar biogas masuk bersama-sama dengan udara ke ruang bakar, sehingga yang dikompresikan tidak hanya udara tapi juga biogas. (Syarifudin, 2012).

### 1.2.3 TPA (Tempat Pemrosesan Akhir)

Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) merupakan tempat dimana sampah mencapai tahap terakhir dalam pengelolaannya sejak mulai timbul di sumber, pengumpulan, pemindahan/pengangkutan, pengolahan dan pembuangan. TPA merupakan tempat dimana sampah diisolasi secara aman agar tidak menimbulkan gangguan terhadap lingkungan sekitarnya. Karenanya diperlukan penyediaan fasilitas dan perlakuan yang benar agar keamanan tersebut dapat dicapai dengan baik.

Selama ini masih banyak persepsi keliru tentang TPA yang lebih sering dianggap hanya merupakan tempat pembuangan sampah. Hal ini menyebabkan banyak Pemerintah Daerah masih merasa sayang untuk mengalokasikan pendanaan bagi penyediaan fasilitas di TPA yang dirasakan kurang prioritas dibanding dengan pembangunan sektor lainnya.

Pada TPA, sampah masih mengalami proses penguraian secara alamiah dengan jangka waktu panjang. Beberapa jenis sampah dapat terurai secara cepat, sementara yang lain lebih lambat, bahkan ada beberapa jenis sampah yang tidak berubah sampai puluhan tahun, misalnya plastik. Hal ini memberikan gambaran bahwa setelah TPA selesai digunakanpun masih ada proses yang berlangsung dan menghasilkan beberapa zat yang dapat mengganggu lingkungan. Karenanya masih diperlukan pengawasan terhadap TPA yang telah ditutup.

Berdasarkan data SLHI Tahun 2007 tentang kondisi TPA di Indonesia, sebagian besar merupakan tempat penimbunan sampah terbuka (*open dumping*) sehingga menimbulkan masalah pencemaran pada lingkungan. Data menyatakan bahwa 90% TPA dioperasikan dengan *open dumping* dan hanya 9% yang dioperasikan dengan *controlled landfill* dan *sanitary landfill*. Perbaikan kondisi sampah pada skala kota. Beberapa permasalahan yang sudah timbul terkait dengan operasional TPA yaitu (Damanhuri, 1995):

1. Pertumbuhan vektor penyakit

Sampah merupakan sarang yang sesuai berbagai vektor penyakit. Berbagai jenis rodentisida dan insektisida seperti tikus, lalat, kecoa dan nyamuk sering dijumpai di lokasi ini.

2. Pencemaran udara

Gas metana ( $\text{CH}_4$ ) yang dihasilkan dari tumpukan sampah ini, jika konsentrasinya mencapai 5-15% di udara, maka metana dapat mengakibatkan ledakan.

3. Pandangan tak sedap dan bau tak sedap

Meningkatnya jumlah timbunan sampah, selain sangat mengganggu estetika, tumpukan sampah ini menimbulkan bau yang tidak sedap.

4. Asap pembakaran

Apabila dilakukan pembakaran, akan sangat mengganggu terutama dalam transportasi dan gangguan kesehatan.

5. Pencemaran *leachate*

*Leachate* merupakan air hasil dekomposisi sampah, yang dapat meresap dan mencemari air tanah

6. Kebisingan

Gangguan kebisingan ini lebih disebabkan karena adanya kegiatan operasi kendaraan berat dalam TPA (baik angkutan pengangkut sampah maupun kendaraan yang digunakan meratakan dan atau memadatkan sampah).

## 7. Dampak sosial

Keresahan warga setempat akibat gangguan-gangguan yang disebutkan di atas.

Terkait dengan permasalahan diatas PP no 16/2015 tentang pengembangan penyediaan air minum mensyaratkan bahwa sampah yang memadai perlu dilakukan untuk perlindungan air baku air minum. TPA wajib dilengkapi dengan zona penyangga dan metode pembuangan akhirnya dilakukan secara *sanitary landfill* (kota besar/metropolitan) dan *controlled landfill* (kota sedang/kecil). Perlu dilakukan pemantauan kualitas hasil pengolahan *leachate* (efluen) secara berkala. Regulasi berdasarkan UU No.18 / 2008 mengisyaratkan ketentuan penutupan TPA *open dumping* menjadi *sanitary landfill* dalam waktu 5 (lima) tahun, sehingga diperlukan berbagai upaya untuk melakukan revitalisasi TPA.

TPA yang dulu merupakan tempat pembuangan akhir, berdasarkan UU no 18 Tahun 2008 menjadi tempat pemrosesan akhir didefinisikan sebagai pemrosesan akhir sampah dalam bentuk pengembalian sampah atau residu hasil pengolahan sebelumnya ke media lingkungan secara aman. Selain itu di lokasi pemrosesan akhir tidak hanya ada proses penimbunan sampah tetapi wajib terdapat 4 (empat) aktifitas utama penanganan sampah dilokasi TPA, yaitu (Litbang PU, 2009):

1. Pemilahan sampah
2. Daur-daur ulang sampah non-hayati (an-organik)
3. Pengomposan sampah hayati (organik)
4. Pengurugan/penimbunan sampah residu dari proses di atas di lokasi pengurugan atau penimbunan (*landfill*)

### 1.2.4 Profil TPA Bandengan Jepara

TPA Bandengan terletak di Kabupaten Jepara, Kecamatan Jepara. TPA Bandengan Jepara memiliki luas 2,84 Ha, jarak TPA dengan perumahan/pemukiman terdekat: 0,6 Km, jarak TPA dengan sungai/bahan air terdekat: 2 Km, jarak TPA dengan pantai: 5 Km. Berikut adalah gambaran TPA Bandengan :



Gambar 2.2 Rencana Penataan dan Pengembangan TPA Bandengan  
(Lokasi: TPA Bandengan Jepara)

Gambar 2.3 Menunjukkan peta lokasi dari TPA Bandengan Jepara, dimana disebutkan rencana penataan dan pengembangan TPA juga lokasi tiap-tiap fasilitas yang ada di TPA Bandengan.



Gambar 2.4 Lokasi Penimbunan Sampah (*controlled landfill*)  
(Lokasi: TPA Bandengan Jepara)

Gambar 2.4 Menunjukkan lokasi penimbunan sampah, sistem yang sudah dilakukan di TPA Bandengan yaitu sistem *open dumping* dan *controlled landfill*, yaitu sistem pembuangan sampah pada TPA dihamparkan pada suatu lokasi dan ditata sampai lokasi tersebut penuh. Sampah yang telah terkumpul akan ditimbun menggunakan tanah untuk mengurangi potensi kerusakan lingkungan yang ditimbulkan.



Gambar 2.5 Sampah Sebelum di timbun  
(Lokasi: TPA Bandengan Jepara)

Gambar 2.5 Menunjukkan sampah sebelum ditimbun dengan tanah, setelah sampah sudah di masukkan ke dalam lokasi penimbunan, sampah akan di *press* menggunakan alat berat setelah nantinya akan ditutup dengan tanah dan akan mengalami proses *sanitary landfill*.



Gambar 2.6 Sampah setelah ditimbun dengan tanah Tahun 2016  
(Lokasi: TPA Bandengan Jepara)



Gambar 2.7 Pemipaan gas metan dalam proses *sanitary landfill*  
(Lokasi: TPA Bandengan Jepara)

Gambar 2.7 Menunjukkan pemipaan pada TPA Bandengan. Di dalam pipa tersebut terdapat gas metan hasil dari proses *sanitary landfill*. Gas tersebut akan melalui proses pemipaan dan di fokuskan ke satu pipa, yaitu pipa instalasi sebelum digunakan untuk beberapa keperluan.



Gambar 2.8 Pipa Instalasi Gas Metan  
(Lokasi: TPA Bandengan Jepara)

Gambar 2.8 Menunjukkan Pipa Instalasi Gas metan yang sudah ada pada TPA Bandengan, fungsi dari pipa instalasi tersebut yaitu untuk mengatur keluaran gas metan yang telah dihasilkan dari beberapa tempat *controlled landfill* yang terdapat pada TPA Bandengan Jepara.

### 1.2.5 Pengertian Sampah Padat (MSW)

Menurut UU No 18 Tahun 2008 tentang pengolahan sampah, sampah adalah sisa kegiatan sehari-hari manusia atau proses alam yang berbentuk padat atau semi padat berupa zat organik atau anorganik bersifat dapat terurai atau tidak dapat terurai yang dianggap sudah tidak berguna lagi dan dibuang kelingkuangan, (Slamet,2002). Sampah merupakan konsekuensi dari adanya aktifitas manusia, jumlah atau volume sampah sebanding dengan tingkat konsumsi manusia terhadap barang/material yang dikonsumsi manusia sehari-hari. Dari pengertian diatas dapat disimpulkan bahwa yang dimaksud dengan sampah adalah sebagian dari sesuatu yang tidak dipakai, disenangi atau sesuatu yang harus dibuang, yang umumnya berasal dari kegiatan yang dilakukan oleh manusia (termasuk kegiatan

industri), tetapi bukan biologis (karena *human waste* tidak termasuk didalamnya) dan umumnya bersifat padat (karena air bekas tidak termasuk didalamnya).

Menurut Dainur, 1995, sampah padat dibagi menjadi beberapa jenis, yaitu :

a. Berdasarkan zat kimia yang terkandung didalamnya

1. Sampah anorganik

Sampah anorganik adalah sampah yang dihasilkan dari bahan-bahan non-hayati, baik berupa produk sintetik maupun hasil proses teknologi pengolahan bahan tambang. Sebagian besar anorganik tidak dapat diurai oleh alam/mikroorganisme secara keseluruhan *unbiodegradable*. Sementara, sebagian lainnya hanya dapat diuraikan dalam waktu yang lama. Misal: botol plastik, botol gelas, tas plastik, kaleng, dan logam-logam.

2. Sampah organik

Sampah organik adalah sampah yang dihasilkan dari bahan-bahan hayati yang dapat didegradasi oleh mikroba atau bersifat *biodegradable*. Sampah dengan mudah dapat diuraikan melalui proses alami. Sampah rumah tangga sebagian besar merupakan bahan organik. Misalnya: sampah dari dapur, sisa-sisa makanan, pembungkus (selain kertas, karet dan plastik), tepung, sayuran, kulit buah, daun dan ranting, (Gelbert dkk, 1996).

3. Berdasarkan dapat tidaknya dibakar.

- a. Mudah terbakar misalnya : kertas, plastik, kain, kayu.
- b. Tidak mudah terbakar misalnya : kaleng, besi, gelas.

4. Berdasarkan dapat tidaknya membusuk.

- c. Mudah membusuk misalnya : sisa makanan, potongan daging.
- d. Sukar membusuk misalnya : plastik, kaleng kaca.

### 2.2.5.1 Proses Penguraian Sampah

Muhammad ikromi (2017) mengatakan bahwa sampah dapat mengalami penguraian melalui dua cara yaitu secara fisika dan secara biokimia. Penguraian sampah organik akan terjadi dengan sendirinya karena peran bakteri pengurai

sedangkan sampah anorganik dan B3 dapat terurai melalui tindakan lebih lanjut seperti pembakaran yang tergolong kedalam jenis penguraian secara fisika.

a. Penguraian biokimia

Sampah organik yang tersusun atas berbagai materi organik seperti karbohidrat, lemak dan protein yang apabila dibiarkan begitu saja akan mengalami suatu proses pembusukan oleh mikroorganisme, sehingga material organik tersebut akan terpecah menjadi substrat yang lebih halus akibat perubahan aktivitas sel biologis dari bahan organik yang dikibatkan oleh berbagai reaksi kimia. Proses inilah yang dinamakan dengan proses biokimia

b. Penguraian fisika

Penguraian sampah secara fisika dapat dilakukan dengan proses pembakaran. Pada proses penguraian ini, sampah yang dibakar akan menghasilkan nilai kalor yang berbeda tergantung pada jenis dan jumlah sampah. Energi kalor yang dibangkitkan dari pembakaran sampah ini disebut sebagai energi biomassa.

### 1.2.6 Tempat Pembuangan (*landfill*)

Muhammad ikromi (2017) menyatakan bahwa terdapat tiga jenis tempat pembuangan yaitu open dumping, controlled landfill dan sanitary landfill.

1. *Open dumping*

Sistem pembuangan jenis merupakan cara pembuangan sampah yang paling sederhana dimana sampah pada suatu TPA hanya dihamparkan pada suatu lokasi dan dibiarkan menumpuk sampai lokasi penuh.

2. *controlled landfill*

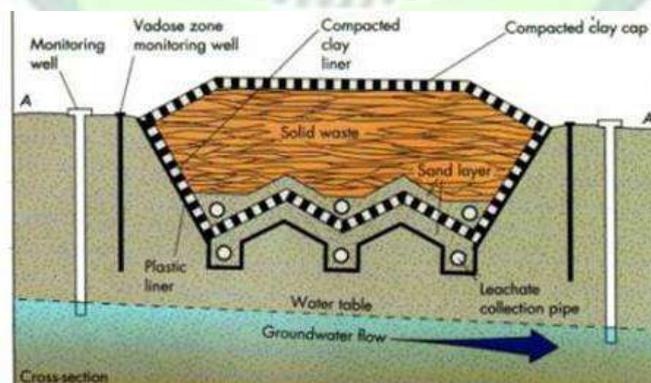
Sistem pembuangan jenis ini merupakan pengembangan dari sistem open dumping dimana dalam waktu tertentu, sampah yang telah terkumpul pada TPA ditimbun menggunakan lapisan tanah untuk mengurangi potensi kerusakan lingkungan yang ditimbulkan.

### 3. sanitary landfill

Sistem pembuangan jenis *sanitary landfill* merupakan sistem standar yang ditetapkan oleh dunia internasional. Sistem ini menerapkan penutupan sampah rutin setiap hari sehingga potensi gangguan terhadap lingkungan dapat diminimalisir. Selain itu, gas *landfill* yang dihasilkan dapat dikumpulkan dan dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik.

#### 1.2.7 *Sanitary landfill*

Sanitary landfill adalah sistem pengolahan sampah terpadu yang didesain untuk mencegah perembesan lindi ke dalam tanah. Bagian dasar TPA, dipasang *clay liner* dan *geomembrane* yang berfungsi untuk mencegah merembesnya lindi ke dalam tanah (Bagchi, 1994). Di TPA sampah akan mengalami proses dekomposisi oleh mikroba yang mengakibatkan terjadinya perubahan fisik-kimia-biologis secara simultan, dengan menghasilkan lindi. Menurut Bagchdi (1994), faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas lindi adalah komposisi sampah, umur landfill, kadar air sampah dan ketersediaan oksigen. Kualitas lindi juga dipengaruhi oleh umur landfill. Secara umum, konsentrasi polutan yang terkandung pada tahun pertama lebih rendah dibandingkan dengan tahun-tahun berikutnya, dan mencapai puncaknya setelah beberapa tahun. Selain itu, kualitas lindi juga dipengaruhi oleh temperatur, yang mempengaruhi pertumbuhan bakteri dan reaksi-reaksi kimia yang berlangsung. Berikut adalah sistem *sanitary landfill* yang sering digunakan:



Gambar 2.9 Skema *Sanitary Landfill*

(sumber: <https://seagrant.uaf.edu/nosb/papers/2004/selawik-landfills.html>)

Tujuan yang paling mendasar dari pelaksanaan konstruksi ini adalah untuk mencegah lindi tidak masuk ke tanah dan tanah terkontaminasi oleh lindi. Agar landfill dapat berfungsi dengan baik, elemen-elemen strukturnya harus dirancang dengan tepat sesuai standar. Lapisan-lapisan yang harus ada pada sebuah landfill adalah lapisan tanah dasar, lapisan clay liner, geomembrane, pipa pengumpul lindi, konstruksi lapisan drainase, konstruksi lapisan penutup serta kolam-kolam pengolahan lindi.

Diantara sistem pengolahan sampah di TPA, yang paling penting adalah teknik *capping* (menutup) lahan. *Capping* lahan sangat penting untuk memahami bahwa rencana pengembangan sistem pengumpulan gas metan termasuk penyediaan tutup (*cap*) *semi-impermeabel* untuk memungkinkan terjadinya penyerapan kelembaban. Diperkenalkannya aturan baru di seluruh dunia yang menyatakan bahwa lahan TPA harus dilapisi/ditutup dengan membran yang sesuai untuk mencegah lepasnya gas LFG ke udara. Saat ini, lahan TPA merupakan salah satu kontributor produksi gas metan utama dan permasalahan gas rumah kaca seluruh dunia.

Untuk mengetahui produksi gas yang dihasilkan dari *Landfill* dapat menggunakan persamaan LandGEM yang dipublikasikan oleh Environmental Protection Agency (EPA) Amerika Serikat seperti di bawah ini :

$$Q_T = \sum_{i=1}^n 2k L_o M_i e^{-kt_i} \dots\dots\dots(2.1)$$

dimana :

$Q_T$  = tingkat emisi gas total (volume/waktu)

$n$  = total periode waktu dari penimbunan sampah

$k$  = konstanta emisi gas *Landfill*

$L_o$  = potensi produksi metana (volume/massa sampah)

$T_i$  = jangka waktu penimbunan sampah (waktu)

$M_i$  = massa sampah (ton)

Estimasi kasar produksi gasbio sebagai berikut :

$$Q = M \times 10 \times T / 8760 \dots\dots\dots(2.2)$$

dimana :

Q= aliran gas (m<sup>3</sup>/jam)

M= jumlah sampah yang dapat terurai (ton)

T= waktu (tahun)

Potensi daya yang dihasilkan dari landfill adalah sebagai berikut :

$$P_g = \frac{Q_T \times H_o}{3600} \dots\dots\dots(2.3)$$

dimana :

P<sub>g</sub> = daya yang dihasilkan (kW)

Q<sub>T</sub> = produksi LFG (m<sup>3</sup>/jam)

H<sub>o</sub> = nilai kalori LFG (kJ/m<sup>3</sup>)

### 1.2.8 Landfill Gas (LFG)

Anonim (2009) menyatakan bahwa *landfill gas* (LFG) adalah gas yang dihasilkan dari proses fermentasi atau anaerobik dari bahan-bahan organik, seperti kotoran manusia, kotoran hewan, limbah domestik (rumah tangga), limbah pertanian, limbah perkebunan dll. Kandungan yang paling utama dalam LFG adalah metan (CH<sub>4</sub>) dan karbondioksida (CO<sub>2</sub>).

Gas *landfill* merupakan gas yang dihasilkan oleh limbah padat yang dibuang ke *landfill*. Sampah ditimbun dan ditekan di suatu tempat secara mekanik dan tekanan dari lapisan di atasnya. Karena kondisinya menjadi anaerobik, bahan organik tersebut terurai dan gas *landfill* dihasilkan. Gas ini semakin berkumpul untuk kemudian perlahan-lahan terlepas ke atmosfer. Hal ini menjadi berbahaya karena :

- a. Dapat menyebabkan ledakan karena didalam gas metan yang berbahaya.
- b. Pemanasan global melalui metana yang merupakan gas rumah kaca yang lebih besar 21 kali dari karbondioksida.
- c. Material organik yang terlepas (*volatile organic compounds*) dapat menyebabkan *photochemical smog*.

Hamburg (1998) menyatakan bahwa LFG yang dihasilkan oleh pembusukan bahan organik dengan cara anaerob, merupakan campuran gas-gas. Komposisi gas yang dihasilkan tergantung pada bahan yang dicerna (bahan baku sampah), kemampuan penampung pengolahan, keadaan kesehatan mahluk pencerna, dan berbagi parameter lainnya, seperti suhu, kelembaban, kadar air, keasaman, perbandingan karbon/nitrogen, dll. Untuk gas yang berasal dari *landfill*, biasanya memiliki konsentrasi sebesar 60% untuk gas metana (CH<sub>4</sub>) dan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>). Berikut adalah gas yang dihasilkan dari landfill dengan proses anaerobik:

Tabel 2.1 Data Komposisi Gas dari Landfill

Komponen	Kandungan Gas (%)
Metan (CH <sub>4</sub> )	45-60
Karbon Dioksida	40-60
Nitrogen	2,0-5,0
Oksigen	0,1-1,0
Ammonia	0,1-1,1
Hidrogen	0-0,2
Karbon Monoksida	0-0,2

(sumber: Tchobanoglous, 1993)

Dari tabel 2.3 dapat diketahui bahwa kandungan terbesar yang dihasilkan dari *landfill* adalah gas metan yaitu sebesar 45%-60% dan berikutnya adalah karbon dioksida sebesar 40%-60%. Gas metana dihasilkan oleh bahan-bahan organik seperti limbah kotoran ternak, sampah, limbah pertanian, maupun limbah perkebunan yang mengalami proses anaerobik (tanpa udara).

Ziestman (2003) mengatakan bahwa metana adalah sebagai gas yang dihasilkan dan pembusukan sampah padat yang dikondisikan dalam suatu pengolahan. Sedangkan menurut (H. Insam a, B. Wett, 2007; lenny Bernstein, Gary Yohe,dkk, 2007), gas metana merupakan gas rumah kaca (GRK) yang menyumbang pemanasan global 21 kali lebih besar dari CO<sub>2</sub>. Harus dikurangi emisinya dengan cara ditangkap / diekstraksi untuk dijadikan CO<sub>2</sub> dengan cara flaring maupun dijadikan bahan bakar pembangkit listrik.

Muhammad ikromi (2017) mengatakan bahwa pembentukan gas *landfill* melalui berbagai proses biologis. Gas *landfill* dihasilkan dari proses dekomposisi materi sampah organik. Diperkirakan 1.87 m<sup>3</sup> gas *landfill* dihasilkan dari setiap kilogram bahan organik yang terurai (menjadi 50% gas metana).

### **1.2.9 Konversi Energi dari Sampah ke Listrik**

Proses konversi energi yang digunakan untuk menghasilkan listrik secara garis besar terbagi dua yaitu : konversi biologis dan konversi termal.

Konversi biologis menggunakan bakteri pengurai sampah organik untuk menghasilkan gas metan (CH<sub>4</sub>). Melalui proses degradasi biologis, senyawa tersebut dirombak menjadi gas metan pada kondisi tanpa kehadiran oksigen (dekomposisi anaerob). Metode yang digunakan pada studi ini adalah *Landfill*.

Konversi termal adalah proses transformasi sampah menjadi sumber energi dengan menggunakan biogas yang dihasilkan sebagai bahan bakar. Teknologi pembangkitan listrik yang digunakan.

Untuk mengetahui kapasitas energi listrik yang dapat dihasilkan dari timbulan sampah di TPA Bandengan Jepara, maka perlu dilakukan perhitungan konversi energi gas LFG menjadi listrik. Dimana gas yang dapat digunakan sebagai bahan bakar Pembangkit Listrik hanyalah gas metan sehingga dengan menentukan jumlah kandungan gas metan pada LFG adalah 50%, maka jumlah energi listrik yang dikonversi dapat ditentukan dengan menggunakan tabel sebagai berikut :

Tabel 2.2 Data Konversi Energi

Jenis energi	Setara Energi
1 kg Gas Metana	$6,13 \times 10^7$ /J
1 kWh	$3,6 \times 10^6$ /J
1m <sup>3</sup> gas metan	9,39 kWh

(Sumber : *Renewable Energy Conversion, Transmision, And Storage, Bent Sorensen, Juni 2007*)