

Evaluasi Pemanfaatan Gas TPA Menjadi Listrik, Studi Kasus TPA Jatibarang Kota Semarang

Nurhadi¹, Jaka Windarta¹, Denis Ginting², Enda Wista Sinuraya², Gregorius Mariyanto Pasaribu²

¹Magister Energi, Sekolah Pascasarjana, Universitas Diponegoro;

²Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro;

Email : nurhadi@student.undip.ac.id (N), jakawindarta@lecturer.undip.ac.id (J.W),
denisginting@elektro.undip.ac.id (D.G), sinuraya_enda@elektro.undip.ac.id (E.W.S),
gregoriuspa1000@gmail.com (G.M.P);

Abstrak : Sampah merupakan material sisa yang tidak diinginkan setelah berakhirnya suatu proses. Pengelolaan sampah telah menjadi masalah penting di kota-kota Indonesia karena pencemarannya terhadap lingkungan. Akumulasi sampah menghasilkan gas TPA yang berbahaya bagi iklim tetapi berpotensi sebagai energi terbarukan. Pemanfaatan gas TPA sebagai energi alternatif dapat menggantikan energi fosil konvensional dan mengurangi emisi gas rumah kaca (GRK) yang terkait dengan produksi energi dari energi fosil. Kota Semarang dengan jumlah penduduk 1,8 juta, menghasilkan sekitar 1.270 ton sampah per hari, di mana sekitar 70% sampah diangkut dan dibuang ke TPA Jatibarang. Produksi gas TPA diperkirakan mencapai 600 m³/jam yang dapat dikonversi menjadi 1,3 MW. Studi ini mengevaluasi konversi gas TPA menjadi listrik melalui pembakaran di TPA Jatibarang di Kota Semarang. Fasilitas konversi gas TPA menjadi listrik telah beroperasi sejak akhir 2019.

Kata Kunci : Sampah, Pemanfaatan, Konversi

1. Pendahuluan

Indonesia diperkirakan menghasilkan sampah 64 juta ton per tahun. Komposisi sampah paling besar adalah sampah organik 60%, disusul sampah plastik 14%, kertas 9%, karet 5,5% dan sampah lainnya seperti logam, kain, kaca, dan sejenisnya (BPS, 2019). Sebagian besar sampah yang dihasilkan dibuang di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) secara terbuka, bahkan dengan pembakaran yang menghasilkan gas-gas yang sangat beracun. Sampah hanya dipindahkan dan menumpuk di TPA. Sebagian pembuangan merupakan daerah-daerah dataran rendah diluar kota, tanpa tindakan teknis tertentu sebagaimana yang disyaratkan sehingga menyebabkan masalah kesehatan dan pencemaran lingkungan (Sudibyo et al., 2017; Mani, 2015; Lino dan Ismail, 2013).

Salah satu perhatian lain pada pengelolaan TPA adalah produksi emisi Gas Rumah Kaca (GRK) karena proses dekomposisi anaerob sampah organik (Pecorini et al., 2017). Dengan produksi sampah dan komposisinya, sampah Indonesia diperkirakan menghasilkan emisi GRK 88 Mton CO₂e dengan rerata pertumbuhan 4% pada kurun 2000-2012. Emisi GRK dari pengelolaan sampah akan tumbuh 6,3% sehingga mencapai 296 Mton CO₂ pada tahun 2030. (KLHK, 2016).

Padahal, gas TPA terdiri dari sebagian besar CH₄ dan CO₂ yang produksinya akan berakhir sampai seluruh sampah organik terdegradasi dan dapat berlangsung puluhan tahun (Pawananont, 2017). Komposisi gas TPA terdiri dari CH₄ 50%, CO₂ 40%, dan gas lainnya 10% (Pawananont dan Leepakpreeda, 2017). Dengan karakteristik sampah dan emisi GRK yang dihasilkan, pemilihan teknologi yang tepat dibutuhkan agar dapat memanfaatkan sampah menjadi sumber energi (Pecorini et al., 2017). Teknologi pemrosesan sampah yang memadai tidak hanya mengurangi dampak lingkungan namun juga mengurangi emisi GRK dan menghemat penggunaan energi fosil serta memitigasi perubahan iklim (Wang et al., 2015).

Pemanfaatan gas TPA sebagai energi dapat menggantikan energi fosil konvensional, mengurangi pemakaian energi, dan menurunkan emisi yang berkaitan dengan produksi energi dari energi fosil. Hal ini memberi keuntungan tambahan dalam pemanfaatan gas TPA (Lee, Han, dan Wang, 2017). Beberapa riset telah meneliti pemanfaatan gas TPA misalnya tentang perkiraan produksi gas (Garcilasso et al., 2011, Noor et al., 2012, Dewi et al., 2017, Sewchuran dan Davidson, 2017), penggunaan teknologi dan kelayakannya (Mbav et al., 2012, Thohiroh dan Mardiati, 2014, Pawananont dan Leepakpreeda, 2017, Fallahizadeh, 2019) maupun evaluasi pemanfaatan gas TPA (Sisani, Contini dan Maria, 2016, Lee, Han dan Wang, 2017). Beberapa studi menunjukkan potensi dan peluang namun studi yang lain menunjukkan tantangan pemanfaatan gas TPA. Sisani, Contini dan Maria (2016) menunjukkan bahwa pemanfaatan gas TPA menghasilkan energi lebih tinggi dibanding penggunaan energinya. Penelitian ini mengevaluasi pemanfaatan gas TPA Jatibarang Kota Semarang Indonesia yang memanfaatkan gas TPA untuk menghasilkan listrik melalui pembakaran di generator konversi gas. Kota Semarang dengan penduduk 1,8 juta menghasilkan sampah sekitar 1.270 ton per hari yang sekitar 70% sampah diangkut dan dibuang ke TPA (DLH Semarang, 2018). Produksi gas TPA diperkirakan sampai dengan 600 m³/jam yang dapat dikonversi sampai dengan 1,3 MW (Q2, 2015). Fasilitas konversi gas TPA menjadi listrik telah beroperasi pada akhir 2019

2. Kajian Teori

Penelitian ini merupakan tipe penelitian eksploratif melalui pendekatan kualitatif, menggunakan metode studi kasus. Penggunaan metode studi kasus didorong oleh pertanyaan penelitian yang cenderung menjawab pertanyaan mengapa dan bagaimana. Studi kasus lebih sesuai untuk menjelaskan mengapa keputusan-keputusan dilakukan, bagaimana dilakukan dan apa hasilnya. Selain itu, studi kasus juga sangat sesuai untuk meneliti masalah yang kontemporer dan level kontrol peneliti terbatas (Yin, 2006). Disamping itu, penulis juga ingin menyajikan penelitian secara lebih terperinci dan dalam latar yang alamiah (Herdiansyah, 2010). Tahapan penelitian meliputi:

1) Pengembangan pertanyaan pemandu

Pertanyaan pemandu digunakan sebagai referensi selama proses wawancara. Pertanyaan ini tidak bersifat mengikat sehingga dapat berkembang sesuai dengan kebutuhan maupun ketersediaan data dan informasi.

2) Identifikasi narasumber

Narasumber diidentifikasi berdasarkan keahlian dan keterkaitan dengan kegiatan pembangunan fasilitas. Narasumber terdiri dari Dinas Lingkungan Hidup Kota Semarang, unit manajemen Environmental Support Programme Phase 3 (ESP3), pengawas proyek, kontraktor, operator pembangkit listrik, dan ahli dari universitas. Narasumber berjumlah sembilan orang.

3) Wawancara

Wawancara untuk narasumber yang berada di Semarang dilakukan dengan tatap muka maupun melalui sambungan telepon. Narasumber yang berada diluar daerah dan luar negeri dilakukan melalui korespondensi email. Wawancara dilakukan selama bulan April 2020. Penelitian ini diperkuat dengan kajian literatur dari laporan-laporan kajian dan dokumentasi proses pembangunan serta observasi terhadap proses pembangunan dan operasionalisasi fasilitas konversi gas TPA menjadi listrik.

3. Analisa dan Pembahasan

TPA Jatibarang merupakan satu-satunya TPA yang beroperasi di Kota Semarang saat ini. TPA menerima sampah dari 575 – 800 ton per hari selama periode 1999 – 2016 ketika analisa kelayakan pemanfaatan gas TPA menjadi listrik dilakukan. Studi pra-kelayakan memperkirakan lebih dari 3,5 juta ton sampah telah tertimbun di TPA Jatibarang terutama di sel 1 dan 2 yang telah digunakan sejak TPA beroperasi. Komposisi sampah tertimbun terdiri dari limbah makanan sebesar 43,36%, sampah kebun sebesar 18,58%. Sampah plastik sebesar 13,4% sedangkan sampah kertas sebesar 12,26%. Sisanya terdiri dari sampah tekstil, logam, popok dan sampah lainnya (Q2, 2015; Q2, 2016).

TPA Jatibarang dirancang dengan tujuan untuk dikelola sesuai dengan sistem lahan urug saniter (*sanitary landfill*), namun selama kunjungan lapangan yang dilakukan di bulan Juli sampai November 2014 tidak terlihat praktek. pengelolaan tersebut teraplikasi dengan baik. Hal ini menyebabkan berbagai masalah lingkungan muncul yang sangat mempengaruhi kesehatan dan keselamatan masyarakat sekitar. Luas TPA mencapai 46 Ha namun batas kawasan tidak jelas sementara kondisi geografis berbukit dan lembah yang sulit diakses. Jalan akses sangat terbatas terutama pada saat musim hujan (Q2, 2015).

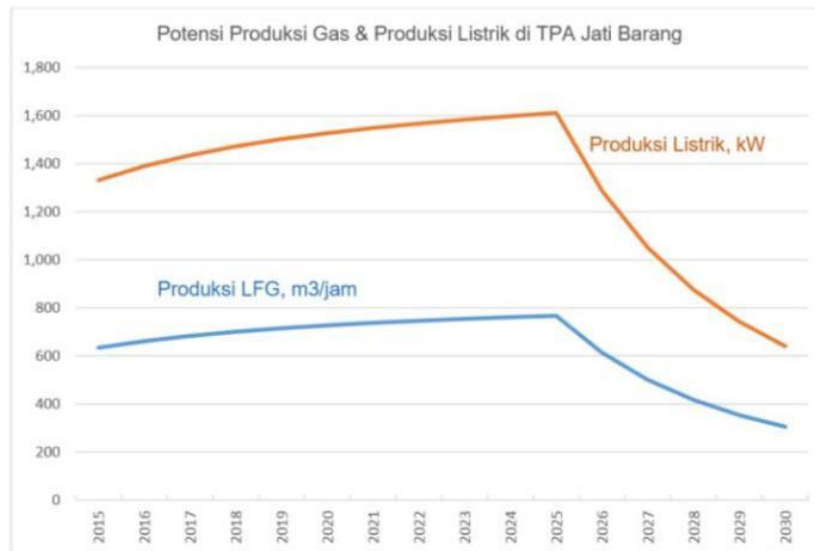
Di TPA Jatibarang terdapat sapi milik masyarakat yang berjumlah lebih dari 700 ekor pada saat dilakukan pra-studi kelayakan (Q2, 2015). Jumlah tersebut terkonfirmasi menjadi sekitar 2.300 ekor ketika dilakukan pendataan oleh DLH Kota Semarang pada tahun 2018. Keberadaan sapi menghambat mobilitas kendaraan dan alat berat. Keberadaan pemulung juga teridentifikasi yang menghambat proses pemadatan oleh alat berat.

Operator menyatakan bahwa kejadian kebakaran pernah terjadi beberapa kali beberapa waktu lalu. Kebanyakan ini merupakan kebakaran kecil dan api biasanya dapat dikendalikan dan dipadamkan. Kemungkinan api terjadi di area TPA yang sampahnya belum tertutup tanah dan area yang ramai dengan pemulung. Sumber api ini biasanya disebabkan oleh pemulung yang merokok dan melempar puntung rokok dan adanya pembakaran kabel untuk pengambilan tembaga sebagai sampah daur ulang (Q2, 2015).

Dengan data pembuangan sampah yang tersedia dan pembuangan sampah selanjutnya sampai tahun 2024, komposisi sampah dan faktor koreksi sistem pengelolaan TPA, potensi energi dari gas TPA diperkirakan mencapai 600 m³ per jam atau maksimal setara dengan 1,3 MW (Q2, 2015).

Pembangunan pembangkit listrik tenaga gas TPA dilakukan pada Oktober 2018 sampai dengan Desember 2019. Kapasitas generator gas terpasang sebesar 954 kW. Pada saat proses ujicoba akhir dimana pembeli listrik, meminta uji ketahanan 3 x 24 jam, pembangkit listrik gagal memenuhi persyaratan. Pembangkit hanya berhasil beroperasi pada kapasitas 800 kW selama 4 jam. Setelah beroperasi lebih dari empat jam, volume gas TPA menurun. Demikian pula dengan konsentrasi gas metana yang menurun dibawah 40% sementara generator gas membutuhkan masukan gas TPA

dengan konsentrasi gas metana 50-60%. Pembangkit listrik dari gas TPA Jatibarang akhirnya beroperasi komersial pada kapasitas 200 kW dari kapasitas terpasang 954 kW. Penurunan ini berimplikasi pada penurunan produksi listrik dari proyeksi semula dan penurunan aliran dana kas (cash flow) operator.



Gambar 1. Hubungan Antara Potensi Produksi Gas dan Produksi Listrik di TPA Jati Barang

Ketidaksesuaian produksi gas TPA dengan studi pra-kelayakan (2015) dan studi kelayakan (2016) dapat disebabkan oleh berbagai faktor, yang diklasifikasikan menjadi dua. Pertama, terhambatnya ekstraksi dan transportasi gas TPA dari sel TPA menuju ke sumur gas. Terhambatnya aliran gas TPA dapat disebabkan oleh sumur gas yang kotor dan tersumbat dan atau sumur gas kurang dalam. Kategori pertama secara lengkap dijelaskan sebagai berikut:

1) Sumur gas terhambat oleh kerak dan kotoran

Terdapat jeda waktu sekitar enam bulan antara penyelesaian konstruksi fasilitas konversi gas TPA menjadi listrik di TPA Jatibarang dengan proses uji coba (*commissioning*). Jeda waktu ini dapat menyebabkan fasilitas tidak beroperasi optimal. Operasi fasilitas hanya dilakukan dua jam setiap hari untuk memantau kinerja masing-masing sistem. Menurut salah satu narasumber, sumur-sumur gas dapat tersumbat oleh kotoran yang menyebabkan gas TPA dari tumpukan sampah tidak dapat mengalir, meskipun dipompa dengan blower. Oleh karena itu, seluruh sumur gas harus dibersihkan secara menyeluruh.

2) Sumur gas kurang dalam

Penyebab ketidaksesuaian produksi gas TPA antara perkiraan dengan aktual dapat disebabkan terhambatnya aliran gas dalam tumpukan sel menuju sumur gas. Sumur gas yang ditanam dengan kedalaman 2,5 meter di 10 titik tidak cukup dapat menjangkau seluruh lapisan tumpukan sampah. Kedalaman/ketinggian tumpukan sampah diperkirakan dapat mencapai 15 meter sehingga terdapat kesenjangan antara sampah paling bawah dengan ujung dalam sumur gas sekitar 12,5 meter. Sementara itu, tumpukan sampah telah dilakukan kompaksi dan ditutup tanah. Dengan curah hujan yang tinggi, lapisan-lapisan sampah dalam jangka waktu umur TPA dapat bersifat kedap udara.

Pembersihan dan pemeliharaan sumur gas tidak memadai untuk menjangkau gas-gas yang timbul dari tumpukan sampah paling bawah. Penyebab ini menuntut investasi baru untuk mengganti sumur gas dengan pipa yang lebih panjang/dalam. Meskipun isu ini pernah dibahas pada saat konstruksi, pendalaman sumur gas tidak dilakukan karena mengikuti *detail engineering design* yang telah disepakati.

Kemungkinan penyebab kategori dua bersumber dari jumlah dan jenis/komposisi sampah yang menjadi sumber pembentukan gas TPA. Menurut IPCC (2006), produksi gas TPA diperhitungkan berdasarkan *First Order Decay* (FOD), dimana gas TPA yang timbul berasosiasi dengan jumlah material yang terdegradasi. Jumlah tumpukan sampah dalam satu tahun tidak berasosiasi dengan jumlah gas metana yang terbentuk. Potensi timbunan gas metana terjadi pada suatu tahun tertentu dan secara gradual berkurang sampai lebih dari satu decade. Model FOD merupakan fungsi eksponensial yang menjelaskan fraksi material yang terdegradasi dengan hasil CH₄ dan CO₂.

Jumlah gas TPA yang terbentuk dipengaruhi oleh jumlah materi organik terdegradasi (DOC_m) yang dipengaruhi jenis sampah. Banyaknya gas TPA yang timbul merupakan DOC_m yang terdekomposisi dan dipengaruhi oleh berat sampah tersimpan (W), Karbon Organik Terdegradasi (*Degradable Organic Carbon*), fraksi DOC yang terdekomposisi (DOC_f), dan Faktor Koreksi Metana (*Methane Correction Factor*). MCF dipengaruhi oleh pengelolaan TPA dimana semakin terbuka terhadap oksigen maka nilai MCF semakin kecil sehingga potensi timbunan gas TPA semakin kecil pula (IPCC, 2006). Secara matematis, potensi timbunan gas metana dijelaskan pada persamaan (1).

$$DDOC_m = W \times DOC \times DOC_f \times MCF \quad (1)$$

Dimana:

DDOC_m = jumlah materi organik terdegradasi

W = Berat sampah tersimpan

DOC = Karbon Organik Terdegradasi

DOC_f = fraksi Karbon Organik Terdegradasi yang dapat terdekomposisi

MCF = Faktor Koreksi Metana

DDOC_m menunjukkan jumlah gas TPA secara keseluruhan. Untuk memperoleh jumlah gas metana maka fraksi CH₄ dalam gas TPA (F) dan rasio berat molekul karbon dalam CH₄. Secara matematis dijelaskan pada persamaan (2).

$$Lo = DDOC_m \times F \times \frac{16}{12} \quad (2)$$

Dimana:

Lo = Potensi Timbunan CH₄

DDOC_m = Jumlah materi organik terdegradasi

F = Fraksi CH₄ dalam gas TPA

$\frac{16}{12}$ = Rasio berat molekul CH₄/C

Persamaan matematis ini menjelaskan bahwa potensi timbunan gas CH₄ dipengaruhi oleh jumlah sampah organik yang tersimpan dan sistem pengelolaan TPA. Studi Pra-Kelayakan (2015) menentukan nilai MCF 0,4 yang digunakan untuk rasio sistem pengelolaan sampah yang terbuka tanpa kompaksi. Nilai ini sejatinya relatif rendah dibanding praktek pengelolaan sampah TPA Jatibarang yang dipadatkan dan kadang-kadang dilapisi tanah. Hasil wawancara, kajian literatur dan observasi menunjukkan bahwa ketidaksesuaian perkiraan gas TPA terhadap timbunan gas TPA

aktual disebabkan oleh ketidaksesuaian timbulan sampah. Hal ini dapat terjadi melalui tiga penyebab sebagai berikut:

1) Keberadaan sapi mengurangi jumlah sampah organik

Jumlah sapi sebanyak 2.300 ekor yang memakan sampah organik khususnya sampah sayuran dan buah dari pasar maupun rumah tangga dapat mengurangi jumlah materi organik secara signifikan. Mengacu pada persamaan (1), jumlah materi organik terdegradasi (DDOC_m) akan menurun karena berat sampah tersimpan (W) menurun, demikian pula Karbon Organik Terdegradasi (DOC) dan fraksi Karbon Organik Terdegradasi yang dapat terdekomposisi (DOC_f). Dengan Jumlah Materi Organik Terdegradasi yang menurun maka potensi timbulan gas metana (L_o) juga menurun sebagaimana persamaan (2).

Besarnya penurunan Jumlah Materi Organik Terdegradasi tidak semuanya hilang sesuai dengan jumlah sampah organik yang dimakan sapi karena sapi mengeluarkan kotoran yang memberikan tambahan materi organik terdegradasi. Namun, tambahan materi organik terdegradasi dari kotoran sapi tidak sesuai dengan jumlah sampah yang dimakan. Aktifitas sapi di TPA terjadi pada siang hari antara pukul 07.00 – 17.00 WIB dan kemudian kembali ke kandang yang berada di dalam maupun sekitar Kawasan TPA Jatibarang. Kotoran selama sapi berada di kandang tidak memberi tambahan materi organik terdegradasi ke sel-sel TPA yang dimanfaatkan.

Selain itu, karakteristik sampah organik dan tinja sapi berbeda misalnya kecepatan degradasi dan dekomposisi yang mempengaruhi akumulasi timbulan gas metana. Tinja sapi merupakan sampah organik yang telah memperoleh “*pre-treatment*” alami di dalam perut sapi sehingga kecepatannya dapat berbeda dari sampah organik, yang menurut pendekatan First Order Decay berlangsung lebih dari satu dekade. Perbandingan kecepatan degradasi materi organik pada limbah ternak dan sampah organik perlu diteliti lebih lanjut untuk mengetahui efek pembentukan gas metana dalam jangka panjang.

2) Ketidaksesuaian pembuangan sampah pada sel yang ditutup

Sel TPA yang ditutup berada pada zona 1 dan 2 seluas 9 Ha dari keseluruhan luas TPA mencapai 46 Ha. Selama operasionalisasi TPA sepanjang tahun, pembuangan tidak selalu pada zona yang direncanakan. Pengalihan pembuangan diluar zona yang direncanakan terjadi karena kegiatan perbaikan fasilitas TPA, kerusakan alat berat untuk perataan dan kompaksi, keterbatasan akses masuk terutama pada musim hujan dan penilaian TPA. Kegiatan penilaian Adipura dapat mengalihkan pembuangan sampah ke sel maupun zona yang lain karena dibutuhkan citra yang baik pada zona yang dipakai agar nilai TPA tinggi pada penilaian Adipura. Pengelola TPA mengalihkan sebagian sampah untuk dibuang di zona lain agar sapi-sapi berpindah mengikuti sampah baru sehingga zona yang dinilai dapat ditata dengan baik. Keberadaan sapi pada zona aktif juga mengurangi persepsi juri dalam menilai TPA.

Proses pengalihan pembuangan sampah ini berlangsung sesuai dengan durasi masing-masing gangguan. Gangguan terjadi setiap tahun sehingga pengalihan pembuangan terjadi setiap tahun. Hal ini mengurangi berat sampah yang tersimpan di sel-sel TPA yang dimanfaatkan untuk konversi listrik meskipun tidak mengubah jumlah sampah yang tercatat dibuang ke TPA. Dengan berat sampah tersimpan (W) menurun maka Jumlah Materi Organik

Terdegradasi (DDOCm) menurun mengakibatkan potensi timbulan gas metana (Lo) menurun.

3) Ketidaksihesuaian pencatatan berat sampah

Pencatatan berat sampah dapat berbeda dari sampah yang dibuang di TPA. Hal ini disebabkan alat penimbangan tidak dipasang sejak TPA beroperasi sehingga pencatatan pada periode awal operasional TPA dilakukan dengan konversi dari volume angkut kendaraan dan jumlah kendaraan yang masuk TPA. Konversi ini juga mengikuti jumlah biaya Bahan Bakar Minyak yang dianggarkan dalam APBD.

4. Kesimpulan

Pemanfaatan gas TPA menjadi listrik merupakan alternative pemanfaatan energi sekaligus mitigasi emisi GRK. Untuk mencapai manfaat yang optimal, pendugaan jumlah emisi GRK perlu memperhatikan praktek historis pengelolaan TPA sejak beroperasi sampai dengan penutupan TPA untuk ekstraksi dan konversi gas TPA menjadi listrik. Penurunan gas TPA dapat terjadi oleh praktek pengelolaan TPA yang menyebabkan berat sampah tertimbun (W), Karbon Organik Terdegradasi (DOC), fraksi Karbon Organik Terdegradasi yang dapat terdekomposisi (DOCf) dan Faktor Koreksi Metan (MCF) yang tidak sesuai sehingga mempengaruhi Jumlah Materi Organik Terdegradasi (DDOCm) dan Potensi Timbulan Gas Metana (Lo). Praktek pembiaran sapi atau ternak lain di lokasi TPA dapat mengurangi sampah organik. Meskipun kotoran sapi memberi tambahan materi organik namun dapat mempengaruhi timbulan gas metana akibat pola penggembalaan sapi (waktu di kandang dan di TPA) dan karekateristik proses dekomposisi yang berbeda. Penulis menyarankan penelitian lebih lanjut mengenai perbedaan proses dekomposisi sampah organik dan kotoran ternak terhadap potensi timbulan gas metana dalam jangka panjang.

Daftar Pustaka

- BPS. (2019). Statistik Lingkungan Hidup Indonesia Tahun 2019. Jakarta: KLHK.
- COWI. (2018). Rencana Induk Pengelolaan Sampah Kota Semarang Tahun 2018-2038 Semarang: DLH Kota Semarang.
- Dewi, P. e. (2017). Potensi Energi Listrik yang Dihasilkan dari Emisi Gas Metana Di TPA Suwung Provinsi Bali.
- Garcilasso, V. e. (2011). Electric Energy Generation from Landfill Biogas Case Study and Barriers.
- Herdiansyah, H. (2010). Metodologi Penelitian Kualitatif untuk Ilmu-ilmu Sosial. Jakarta: Salemba Humanika.
- IPCC. (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories-Waste Sector. IPCC.
- Lee, H. a. (2017). Evaluation of landfill gas emissions from municipal solid waste landfills for the life-cycle analysis of waste-to-energy pathways. *Journal of Cleaner Production* 106, 335-342.
- Lino, F., & Ismail, K. (2013). Alternative treatments for the municipal solid waste and domestic sewage in Campinas. *Resource Conservation & Recycle* 81, 24 - 30.
- Mani, S., & Singh, S. (2016). Sustainable Municipal Solid Waste Management in India: A Policy Agenda. *International Conference on Solid Waste Management* (pp. 150 - 157). *Procedia Environmental Sciences* 35.

Mbav, e. a. (2012). Feasibility and Cost Optimization Study of Landfill Gas to Energy Projects Based on a Western Cape Landfill Site.

Noor, Z. Z. (2012). An overview for energy recovery from municipal solid wastes (MSW) in Malaysia Scenario.

Pawanant, K. a. (2017). Feasibility Analysis of Power Generation from Landfill Gas by Using Internal Combustion Engine, Organic Rankine Cycle, and Stirling Engine of Pilot Experiments in Thailand. International Conference on Alternative Energy in Development Countries and Emerging Economies 2017 (pp. 575-579). Bangkok, Thailand: ELSEVIER.

Pecorini I, B. D. (2017). Biofiltration prototypes for methane oxidation in landfill aftercare and abatement of NMVOCs and odorous compounds. *Procedia Environmental Science, Engineering and Management*, 49-53.

Pecorini I, B. F. (2017). Leaching behaviour of hazardous waste under the impact of different ambient conditions. *Waste Management* 63, 96–106.

Q2. (2015). Studi Pra-Kelayakan Pemanfaatan Gas TPA Jatibarang menjadi Listrik. Semarang: ESP3 DANIDA.

Q2. (2016). Studi Kelayakan dan Preliminary Engineering Design Pemanfaatan Gas TPA Jatibarang menjadi Listrik di Kota Semarang. Semarang: ESP3.

Sewchurran, S., & Davidson, I. (2017). Study of Renewable Energy Resources Found Within Local Municipalities.

Sisani, F., Contini, S., & Di Maria, F. (14-16 September 2016). Energetic efficiency of landfill: An Italian case study. 71st Conference of the Italian Thermal Machines Engineering Association, ATI2016., Turin, Italy: ELSEVIER.

Thohiroh, & Mardiaty, R. (2014). Desain Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSA) Menggunakan Teknologi Pembakaran Yang Fisibel Studi Kasus TPA Bantargebang.

Wang, Y., He, Y., Yan, B., Ma, W., & Han, M. (2015). Collaborative emission reduction of greenhouse gas emissions and municipal solid waste (MSW) management - case study of Tianjin. *Procedia Environ. Sci.* 16, 75 – 84.

Yin, R. K. (2006). Studi Kasus – Design dan Metode, Terjemahan, . Jakarta: Raja Grafindo Persada.