

Analisis Emisi CH₄ dan Potensi Energi dari Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Muara Fajar 2 Kota Pekanbaru

Aryo Sasmita¹, Jecky Asmura¹, Betharia Nurmaida^{1*}

¹Prodi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Riau
Kampus Bina Widya Km 12.5 Simpang Baru Pekanbaru 28293 Riau

*aryosasmita@lecturer.unri.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.21107/rekayasa.v15i1.13284>

ABSTRACT

The city of Pekanbaru as an economic center and a destination for urbanization in Riau province has also experienced an increase in population. This is the cause of the increase in the amount of waste that enters the Muara Fajar 2 TPA Pekanbaru City. Solid waste that is stockpiled in the TPA undergoes a degradation process resulting in greenhouse gases in the form of CH₄ which contribute to global warming, but have the potential to be utilized as alternative energy. The purpose of this study was to calculate CH₄ emissions from landfilling activities at TPA 2 Muara Fajar Pekanbaru City and the potential energy produced. The method for calculating landfill gas emissions uses the IPCC 2019 method. The amount of waste that goes to the TPA in 2011-2020 is obtained from the Pekanbaru City Environment and Forestry Office. The highest estimated values of CH₄ gas emissions resulting from landfilling activities at the Muara Fajar 2 TPA Pekanbaru City occurred in 2049 with CH₄ emissions of 34,847 Mg/year and CH₄ volume of 48,560,479 m³/year. The daily electricity generated is 52,052.84 kWh which can meet the electricity needs of 9,362 households in Pekanbaru City.

Key words : landfill, Muara Baru, gas emissions, Pekanbaru, CH₄

PENDAHULUAN

Kota Pekanbaru sebagai ibukota Provinsi Riau, adalah pusat perekonomian terbesar kedua di Pulau Sumatra dan sebagai kota yang memiliki pertumbuhan penduduk, migrasi, dan urbanisasi yang besar. Jumlah Penduduk Kota Pekanbaru pada tahun 2020 berdasarkan data Sensus Penduduk 2020 (BPS Kota Pekanbaru, 2021). Jumlah penduduk ini akan membengkak saat *weekend* karena menjadi tujuan migrasi penduduk dari kota dan kabupaten di provinsi Riau.

Sampah selama ini menjadi persoalan di kota-kota besar yang segera membutuhkan pemecahan. Penanganan sampah yang dibutuhkan saat ini adalah penanganan dengan konsep *zero waste* atau dengan kata lain penanganan yang dapat mengurangi volume sampah, bukan sekedar menimbun sampah (Musyafiq & Cahyo, 2018). Pandangan terbaru pengelolaan sampah, yakni menganggap sampah adalah sumber daya bernilai ekonomis dan dapat bermanfaat (Annisa, 2015). Perlu penerapan teknologi yang dapat

memanfaatkan sampah secara optimal, salah satu penerapan teknologi tersebut dengan menggunakan sampah organik sebagai sumber energi pembangkit listrik (Partha, 2010). Biogas merupakan adalah energi yang bisa didapat dari banyak material terbuang dan bahan sisa, contohnya sampah, buangan hewaan ternak, eceng gondok jerami, dan bahan lain (Armi dan Mandasari, 2017). Biogas umumnya mengandung 60% CH₄, lebih dari 36% CO₂, kurang dari 3% H₂S dan kurang dari 1% hydrogen (Kausar et al., 2017).

Seluruh sampah yang dihasilkan dari aktivitas domestik dan non domestik di Kota Pekanbaru dengan luas daerah pelayanan 632,26 km² akan diangkut dan dibawa ke Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) 2 Muara Fajar. TPA 2 Muara Fajar memiliki luas lahan sekitar 11 Ha yang terdiri dari 6,12 Ha sebagai *landfill site*. Metode yang digunakan pada TPA ini dalam mengatasi permasalahan sampah yang ada di Kota Pekanbaru adalah *Sanitary Landfill*. Jumlah sampah yang ditimbun di TPA ini sebesar 400.461,54 ton/tahun sedangkan jumlah sampah

Article History:

Received: Jan, 11th 2022; **Accepted:** March, 11th 2022

Rekayasa ISSN: 2502-5325 has been Accredited by Ristekdikti (Arjuna) Decree: No. 23/E/KPT/2019 August 8th, 2019 effective until 2023

Cite this as:

Sasmita, A., Asmura, J & Nurmaida, B. (2022). *Analisis Emisi CH₄ dan Potensi Energi dari Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Muara Fajar 2 Kota Pekanbaru*. *Rekayasa* 15 (1). 64-70 pp.
doi: <https://doi.org/10.21107/rekayasa.v15i1.13284>

yang dikelola sebesar 285.149,68 ton/tahun untuk tahun 2020 (Dirjen PSLB3 2021). Pemerintah Kota Pekanbaru telah menyusun suatu kebijakan dibidang persampahan terkait pemanfaatan limbah padat kota sebagai sumber energi dengan Perda Kota Pekanbaru No. 8/2014 tentang Pengelolaan Sampah. Aktivitas penimbunan sampah di TPA menghasilkan gas rumah kaca salah satunya adalah gas CH₄ (Hutagalung, 2020) dan kedua setelah gas CO₂ dalam kontribusinya terhadap pemanasan global (Prabowo *et al.*, 2019). CH₄ berpotensi 21 kali lebih kuat menyerap panas dibandingkan CO₂ (Marten & Newbold, 2012).

Berdasarkan kajian literatur yang telah dilakukan, diketahui bahwa penelitian yang telah dilakukan oleh Sasmita *et al* (2016) terkait estimasi produksi *landfill gas* di TPA 2 Muara Fajar dengan menggunakan permodelan *LandGEM* belum melakukan analisis estimasi IPCC seperti yang dilakukan oleh Rini *et al* (2020) dan Wahyono (2014), serta belum melakukan analisis potensi energi yang dapat dihasilkan oleh gas CH₄ dari kegiatan *landfilling* di TPA seperti yang dilakukan oleh Wahyono (2014) untuk keperluan energi skala domestik dan yang dilakukan oleh Allo dan Widjasena (2019) untuk keperluan Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLT_{Sa}). Berdasarkan uraian data di atas maka fokus penelitian ini adalah menganalisis jumlah emisi *landfill gas* (CH₄) dari aktivitas pengurugan (*landfilling*) sampah di TPA 2 Muara Fajar dengan menggunakan metode perhitungan IPCC (2019). Hasil analisis emisi gas CH₄ kemudian dikonversikan menjadi energi sehingga dapat menjadi representasi kegiatan mitigasi perubahan iklim disektor

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini tingkat ketelitian yang dilakukan berada pada *Tier 2* karena keterbatasan data yang ada. Data sampah yang masuk ke TPA telah menggunakan data historis, namun untuk beberapa parameter antara lain *Degradable Organic Carbon* (DOC), *Fraction of Degradable Organic Carbon* (DOC_f), *Methane Correction Factor* (MCF), konstanta reaksi (k), Faktor Oksidasi (OX) dan Fraksi CH₄ (F) masih menggunakan nilai *default* (standar) yang diperoleh dari IPCC *Guidelines* 2019.

Pengumpulan Data

Pengumpulan data primer dalam penelitian ini dilakukan dengan observasi secara visual ke TPA

Muara Fajar 2 untuk mengetahui kondisi eksisting dari fasilitas-fasilitas pemrosesan akhir sampah di TPA tersebut. Data sekunder yang diperoleh melalui instansi-instansi terkait berupa data jumlah sampah yang masuk ke TPA pada tahun 2011-2020 dari DLHK Kota Pekanbaru, data tahun rencana operasi TPA hingga penutupan (2018-2048) dari *Detail Engineering Design* (DED) TPA Muara Fajar 2 Kota Pekanbaru, data komposisi sampah Kota Pekanbaru berdasarkan penelitian Hapsari (2016), data parameter *default* dari IPCC *Guidelines* 2019 *Volume 5 Waste, Chapter 3 Solid Waste Disposal* berupa nilai *Degradable Organic Carbon* (DOC), *Fraction of Degradable Organic Carbon* (DOC_f), *Methane Correction Factor* (MCF), konstanta reaksi (k), Faktor Oksidasi (OX) dan Fraksi CH₄ (F).

Perhitungan proyeksi timbulan sampah Kota Pekanbaru

Perkiraan timbulan sampah Kota Pekanbaru berdasarkan data jembatan timbang (*weight volume analysis*) yang terdapat di TPA. Proyeksi dilakukan dalam kurun waktu umur operasi yang direncanakan pada DED yaitu selama 30 tahun. Oleh karena itu proyeksi dilakukan untuk tahun 2021 hingga 2048 mendatang. Proyeksi jumlah timbulan sampah Kota Pekanbaru dihitung menggunakan metode aritmatika. Berikut adalah data data timbulan sampah Kota Pekanbaru dalam kurun waktu 10 tahun yaitu 2011-2020.

Tabel 1. Rekapitulasi Timbulan Sampah Kota Pekanbaru 2011-2020

Tahun	Timbulan Sampah (Ton)
2011	78.773,28
2012	79.579,47
2013	133.500,26
2014	144.532,70
2015	148.819,75
2016	121.875,65
2017	132.232,49
2018	189.082,00
2019	171.597,00
2020	283.518,20

Perhitungan Emisi CH₄ dari aktivitas *landfilling* di TPA Muara Fajar 2

Perhitungan emisi gas CH₄ dari timbunan sampah di zona *landfill* TPA 2 Muara Fajar Kota Pekanbaru dengan metode IPCC 2019 berada pada tingkat ketelitian *Tier 2*. Hal ini dikarenakan data aktivitas yang digunakan merupakan *local specific* berupa jumlah timbulan sampah Kota Pekanbaru

yang masuk ke TPA 2 Muara Fajar tahun 2018 - 2048 serta komposisi sampah Kota Pekanbaru berdasarkan Hapsari et al (2016). Sementara itu parameter yang digunakan masih berupa parameter default IPCC 2019. Berikut Tabel 2 menjelaskan komposisi sampah Kota Pekanbaru dari penelitian Hapsari et al (2016).

Tabel 2. Komposisi Sampah Kota Pekanbaru

Komponen Sampah	Komposisi Sampah (%)
Sisa Makanan	57,48
Daun	9,11
Kertas	6,11
Kayu	0,53
Tekstil	1,03
Plastik	15,38
Karet dan kulit	0,07
Logam	0,33
Kaca	1,02
Nappies	7,24
Lainnya	1,61
Total	100.00

Penghitungan Massa DDOCm Terdeposi

Proses dekomposisi DOCm (DDOCm) yang masuk TPA dihitung dengan persamaan berikut ini :

$$DDOCmd(T) = W \times DOC \times DOC_f \times MCF \dots\dots\dots(1)$$

- DDOCmdT = massa DDOC masuk (deposit) TPA di tahun T, Gg
- W = massa dari limbah padat yang ditimbun pada tahun T, Gg
- DOC = fraksi degradasi karbon organik
- DOC_f = fraksi DOC yang dapat terdekomposisi
- MCF = faktor koreksi CH₄ yang terdekomposisi pada tahun penimbunan limbah

Penghitungan Massa DDOCm Terakumulasi dan Terdekomposisi di TPA

DDOCm yang terakumulasi di TPA dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini:

$$DDOCma_T = DDOCmd_T + (DDOCma_{T-1} \times e^{-k}) \dots\dots\dots(2)$$

- T = tahun inventarisasi
- k = konstanta reaksi
- DDOCma_T = DDOCm terakumulasi di SWDS pada akhir tahun T, Gg
- DDOCma_{T-1} = DDOCm terakumulasi di SWDS pada akhir tahun (T-1), Gg
- DDOCmd_T = massa DDOC masuk (deposit) TPA di tahun T, Gg

$$DDOCmdekomposisi_T = DDOCma_{T-1} \times (1 - e^{-k}) \dots\dots\dots(3)$$

- T = tahun inventarisasi
- k = konstanta reaksi
- DDOCmdekom_T = DDOCm masuk ke TPA yang dapat terdekomposisi di tahun T, Gg
- DDOCma_{T-1} = DDOCm masuk ke TPA dapat terdekomposisi di tahun T, Gg
- DDOCmd_T = DDOCm terakumulasi di TPA pada akhir tahun (T-1), Gg

Penentuan Potensi Pembentukan (generation) Gas CH₄

Potensi pembentukan CH₄ dari DDOCm dekomposisi (massa *degradable material organic*) sampah yang ditimbun di TPA yang terdekomposisi) dapat diperkirakan dengan menggunakan persamaan berikut ini :

$$CH_4 generated_T = DDOCmdecomp_T \times F \times \frac{16}{12} \dots\dots\dots(4)$$

- CH₄, generated T = CH₄ yang dibentuk di tahun T akibat penguraian bahan organik dalam sampah, Gg
- DDOCmdecomp_T = DDOCm yang terdekomposisi pada tahun T, Gg
- F = fraksi CH₄ dalam timbulan gas di TPA (0,5 berdasarkan IPCC, 2019
- 16/12 = rasio berat molekul CH₄/C

Dengan demikian pengguna hanya perlu menginput data aktivitas berupa jumlah timbulan sampah selama TPA beroperasi dan data komposisi sampah pada lokasi penelitian, sedangkan parameter default telah tersedia pada spreadsheet ini. Untuk parameter yang digunakan pada penelitian ini yaitu default dari IPCC 2019.

Tabel 3. Data Parameter Default IPCC 2019

Parameter	Nilai Default IPCC, 2019
DOC	
Sisa makanan	0,15
Kayu	0,43
Kertas	0,40
Tekstil	0,24
Daun	0,20
Nappies	0,24

Parameter	Nilai Default IPCC, 2019
DOCF	
(Kayu, daun)	0,1
(Kertas, tekstil, nappies)	0,5
(Sisa makanan)	0,7
Methane Correction Factors (MCF)	1
Konstanta reaksi (k)	
Kertas, tekstil, nappies	0,07
Kayu	0,035
Daun	0,17
Sisa makanan	0,4
Fraksi CH ₄ (F)	0,5
Faktor Oksidasi (OX)	0,1

Perhitungan Konversi Emisi Gas CH₄ Menjadi Energi Listrik

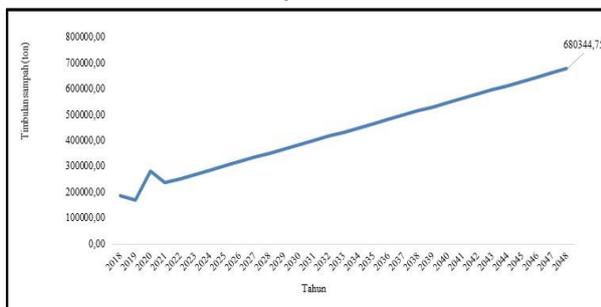
Gas CH₄ yang diemisikan dari aktivitas *landfill* di TPA memiliki potensi menjadi energi listrik. Hal ini dikarenakan kandungan kalor yang terdapat pada gas tersebut. Sehingga energi listrik yang dihasilkan dari gas CH₄ dapat dihitung berdasarkan rumus berikut ini (Sorensen, 2007):

$$Pg = Q_{CH_4} (m^3 /jam) \times Ho (kWh/m^3) \dots\dots\dots(5)$$

- Pg = Daya yang dihasilkan (kW)
- Q_{CH₄} = gas CH₄ (m³/tahun) × 8760 (jam/tahun)
- Ho = Faktor konversi volume gas CH₄ (m³) ke satuan energi listrik (kWh) yaitu 9,39 kWh

HASIL DAN PEMBAHASAN
Perkiraan Timbulan Sampah Kota Pekanbaru hingga 2048

Dengan menggunakan metode proyeksi aritmatika dilakukan proyeksi timbulan sampah Kota Pekanbaru untuk tahun 2021-2048 sesuai dengan batas umur rencana TPA pada DED selama 30 tahun. Berikut ini adalah grafik proyeksi timbulan sampah Kota Pekanbaru tahun 2018-2048 yang masuk ke TPA Muara Fajar 2 (Gambar 1).

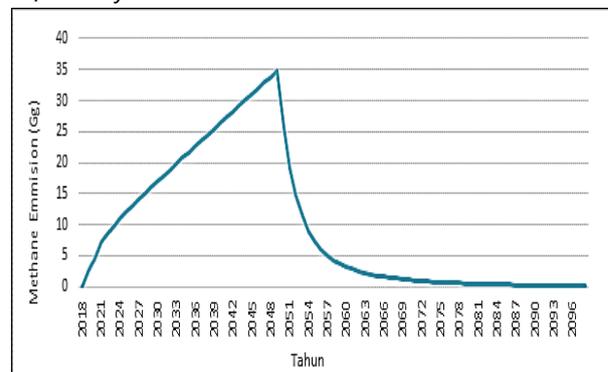


Gambar 1. Proyeksi Peningkatan Timbulan Sampah Masuk ke TPA Muara Fajar 2 Tahun 2018-2048

Data hasil proyeksi timbulan sampah Kota Pekanbaru tahun 2021-2048 ini diperlukan sebagai data input pada perhitungan emisi gas CH₄ pada *Spreadsheet* IPCC 2019. Dari Gambar 1 diketahui bahwa timbulan sampah yang masuk ke TPA Muara Fajar 2 terus meningkat. Hal ini dipengaruhi oleh peningkatan jumlah kependudukan dan peningkatan gaya hidup dalam hal sosio-ekonomi (Prajati & Pesurnay, 2019). Peningkatan jumlah timbulan sampah yang masuk ke TPA juga terjadi pada penelitian Lesmana (2017) di Kabupaten Kotawaringin Timur.

Analisis Emisi Gas CH₄ Menggunakan Metode IPCC 2019

Analisis emisi gas CH₄ yang dihasilkan dari kegiatan pengurangan di zona *landfill* TPA 2 Muara Fajar dengan menggunakan metode IPCC 2019 berada pada Tier 2. Perhitungan menggunakan Tier 2 dengan data aktivitas berupa timbulan sampah Kota Pekanbaru yang masuk ke TPA 2 Muara Fajar selama beroperasi dari tahun 2018-2048 serta persentase komposisi sampah Kota Pekanbaru yang diperoleh dari penelitian yang dilakukan oleh Hapsari (2016) dapat dilihat pada Tabel 2. Setelah seluruh data diinput pada IPCC *Spreadsheet* 2019 maka *software* tersebut akan otomatis melakukan estimasi terhadap data-data tersebut beserta data *default*-nya.



Gambar 2. Grafik Emisi Gas CH₄ dari *landfilling* di TPA 2 Muara Fajar (Gg/tahun)

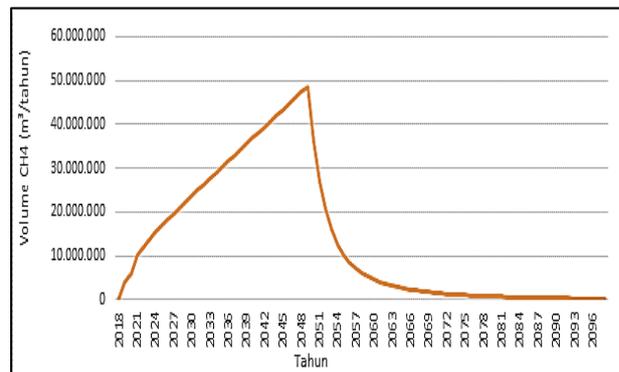
Berdasarkan Gambar 2 diketahui emisi gas CH₄ dari TPA 2 Muara Fajar, tahun 2049 merupakan tahun puncak dihasilkannya gas CH₄ dengan nilai tertinggi sebesar 34,847 Gg/tahun. Hal ini dikarenakan seluruh timbulan sampah yang masuk ke TPA dimulai dari tahun awal beroperasinya TPA pada tahun 2018 hingga akhir pelayanan pada tahun 2048 akan terakumulasi dan menghasilkan nilai emisi gas CH₄ tertinggi satu tahun setelah penutupan TPA yaitu tahun 2049. Timbulan gas

CH₄ pada tahun 2019 sebesar 2,744 Gg/tahun berasal dari timbunan sampah yang masuk pada tahun sebelumnya yaitu 2018 sekaligus sampah yang masuk pada tahun 2019 tersebut. Nilai emisi CH₄ tahun 2019 pada penelitian lebih besar jika dibandingkan Hutagalung, dkk. (2020) di TPA Talang Gulo Kota Jambi sebesar 4.7×10^{-2} Gg/tahun, dikarenakan sampah yang masuk ke TPA Muara Fajar 2 lebih besar.

Gas CH₄ belum dapat dihasilkan pada tahun 2018 karena tidak memiliki jumlah timbunan sampah pada tahun sebelumnya. Proses degradasi materi organik yang terkandung dalam sampah, gas CH₄ tidak langsung terbentuk begitu saja dalam waktu yang singkat. Gas CH₄ terbentuk karena proses fermentasi secara anaerobik oleh bakteri anaerobik (Armi dan Mandasari, 2017). Serangkaian reaksi metabolisme seperti hidrolisis, asidogenesis, asetogenesis, dan metanogenesis terlibat dalam proses penguraian anaerobik tersebut (Kumar, et al. 2015). Pada tahun 2050 emisi gas CH₄ sebesar 25,673 Gg/tahun kemudian mengalami penurunan yang disebabkan karena timbunan sampah yang masuk ke TPA berakhir ditahun 2048, sehingga timbunan sampah yang telah masuk ke TPA akan berangsur berkurang dan seluruh material organik pada sampah yang berpotensi menghasilkan gas CH₄ akan habis terdegradasi. Hal yang sama juga terjadi pada penelitian Allo dan Widjasena (2019), dimana Emisi maksimal gas metana terjadi satu tahun setelah penutupan TPA dan kemudian berangsur menurun hingga habis.

Selain menggunakan metode IPCC (2019) dapat pula menggunakan *software LandGEM*, untuk mendapatkan nilai emisi CH₄ dan CO₂ dari TPA seperti pada penelitian Wahyono (2014) dan Sasmita (2016). Namun metode IPCC tetap dipilih karena menghasilkan angka yang lebih akurat dan berkualitas karena menggunakan input data yang terperinci dan angka-angka koreksi yang telah disesuaikan dengan iklim lokasi penelitian (Wahyono, 2014). Selain itu IPCC telah melakukan penelitian terperinci terkait jenis sampah yang berpotensi menghasilkan gas CH₄ sehingga tidak menganggapnya homogen seperti pada pemodelan *LandGEM*, kemudian karakteristik TPA juga menjadi pertimbangan dalam mempengaruhi timbunan gas CH₄, hal ini dikarenakan metode pengolahan sampah serta fasilitas yang tersedia akan menentukan kondisi yang terjadi pada proses degradasi sampah di *landfill*. Walaupun tingkat

ketelitian dari pemodelan *LandGEM ver 3.02* masih kurang cukup dibandingkan dengan metode IPCC 2019, namun pemodelan ini tetap bisa digunakan sebagai instrumen analisis dan estimasi timbunan gas CH₄ di TPA serta mampu memberikan informasi penting lainnya seperti memperkirakan masa layanan TPA, timbunan gas NMOC (*Non Methane Organic Compound*) dan polutan berbahaya lainnya yang dihasilkan oleh timbunan sampah di TPA (Sasmita, 2016).



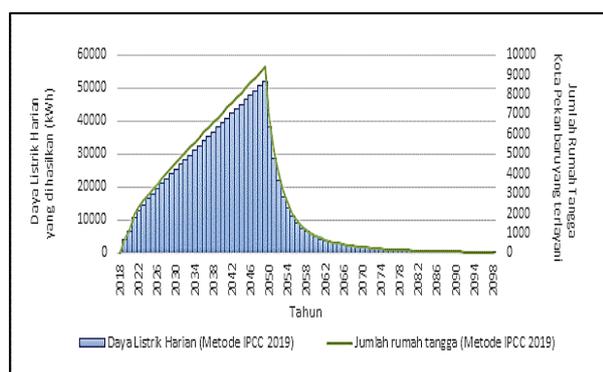
Gambar 3. Grafik Estimasi Volume Gas CH₄ (m³/tahun)

Emisi gas CH₄ kemudian dikonversi menjadi volume gas CH₄ tersebut berdasarkan nilai massa jenis gas CH₄ yaitu $7,176 \times 10^{-7}$ Mg/m³ (Tchobanoglous et al, 1993), didapatkan volume gas pertahun (Gambar 3). Berdasarkan perhitungan diketahui nilai volume gas CH₄ di TPA 2 Muara Fajar pada tahun 2019 sebesar 3.823.857 m³/tahun dan mencapai jumlah volume tertinggi pada tahun 2049 sebesar 48.560.479 m³/tahun. Volume yang diestimasi pada penelitian ini lebih kecil jika dibandingkan dengan penelitian (Osra, et al. 2021) yang mencapai 952.996.960 m³/tahun TPA Kakia, Mekah, Arab Saudi. Hal ini dikarenakan jumlah sampah yang masuk ke TPA Kakia setiap hari mencapai 2000 ton/hari, dan meningkat terurama ketika bulan Ramadhan dan musim haji yang mencapai 4500 ton/hari.

Analisis Potensi Energi Listrik dari Emisi Gas CH₄ TPA 2 Muara Fajar Kota Pekanbaru

Emisi gas CH₄ dari zona *landfill* TPA 2 Muara Fajar Kota Pekanbaru memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai energi alternatif dikarenakan kandungan kalor yang ada pada gas tersebut (Sohoo, et al. 2021). Energi dapat diperoleh dengan pengolahan limbah secara termal langsung atau menggunakan gas yang dihasilkan (Osra, et al. 2021). Volume CH₄ pertahun pada gambar 3, diubah ke emisi CH₄ harian dengan cara membagi

dengan jumlah hari pada tahun tersebut. Potensi energi listrik yang dapat dihasilkan dari gas CH₄ ini dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 5. Kebutuhan listrik rata-rata rumah tangga Kota Pekanbaru per harinya sebesar 5,56 kWh (BPS Kota Pekanbaru, 2021), sehingga bisa disimpulkan berapa jumlah rumah tangga yang dapat dilayani. Berikut ini adalah grafik hasil perhitungan potensi energi listrik dari emisi gas CH₄ di TPA 2 Muara Fajar dari tahun 2018 hingga 2098 beserta pemanfaatannya bagi kebutuhan listrik rumah tangga Kota Pekanbaru (Gambar 4).



Gambar 4. Grafik Potensi Energi Listrik dari Emisi Gas CH₄ TPA 2 Muara

Berdasarkan grafik potensi energi listrik dari emisi gas CH₄ TPA 2 Muara Fajar tersebut dapat dilihat bahwa daya listrik harian tertinggi adalah 52.052,84 kWh pada tahun 2049. Dengan daya listrik tersebut rumah tangga yang dapat di-supply kebutuhan listrik hariannya sebanyak 9.362 rumah tangga. Hal ini mengalami peningkatan jika dibanding dengan penelitian Monice dan Perinov (2018) yang mengatakan berdasarkan sampah yang masuk tahun 2017, potensi energi listrik yang dihasilkan TPA Muara Fajar sebesar 6.806 kWh. Pada penelitian Utomo dan Hariningrum (2020) Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSA) di TPA Jatibarang mampu menghasilkan listrik sebesar 9.525,63 Kw.

KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini adalah dengan menggunakan Metode IPCC 2019 Tier 2, didapatkan nilai estimasi emisi CH₄ tertinggi yang dihasilkan dari kegiatan *Landfilling* di TPA 2 Muara Fajar Kota Pekanbaru terjadi pada tahun 2049 sebesar 34.847 Mg/tahun dan volume CH₄ sebesar 48.560.479 m³/tahun. Daya listrik harian yang dihasilkan 52.052,84 kWh yang dapat memenuhi kebutuhan listrik 9.362 rumah tangga di Kota Pekanbaru.

DAFTAR PUSTAKA

- Allo, S., & Widjasena, H. (2019). Studi Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSA) Pada Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Makbon Kota Sorong. *Jurnal Electro Luceat*, 5(2), 14-24. <https://doi.org/10.32531/jelekn.v5i2.150>
- Annisa, B. (2015). Asesmen Potensi Recovery Energi dari Sampah Perkotaan Di TPA (Tempat Pemrosesan Akhir) Sampah Untuk Infrastruktur Persampahan Berkelanjutan. *Annual Civil Engineering Seminar 2015*, 235-242. ISBN: 978-979-792-636-6.
- Armi dan D Mandasari. (2017). Pengelolaan Sampah Organik menjadi Gas Metana, *Jurnal Serambi Saintia*, 5(1), 1-11.
- BPS (Badan Pusat Statistik) Kota Pekanbaru. (2021). Kota Pekanbaru dalam Angka 2020.
- Direktorat Pengelolaan Sampah, Limbah dan B3 (PSLB3). (2020). *Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN)*.
- Gde Indra Partha, C. (2010). Penggunaan Sampah Organik Sebagai Pembangkit Listrik di TPA Suwung – Denpasar. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 9(2): 152-158.
- Hapsari WK, S Hapsari, dan Suwondo (2016). Analisis Tingkat Emisi Gas Rumah Kaca CO₂-e dari Sampah Kota Pekanbaru untuk Pengembangan Modul Konsep Isu Lingkungan Pada Mata Kuliah Pendidikan Lingkungan. *Jurnal Online Mahasiswa FKIP UNRI* 3(2),1-12.
- Hutagalung, W.L.C., Sakinah, A. dan Rinaldi. (2020). Estimasi Emisi Gas Rumah Kaca pada Pengelolaan Sampah Domestik dengan Metode IPCC 2006 di TPA Talang Gulo Kota Jambi. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 5(1): 59-68. DOI: 10.29244/jsil.5.1.59-68
- IPCC (International Panel of Climate Change). (2019). IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Refinement 2019. Volume 5 Waste, Chapter 3 Solid Waste Disposal.
- Kausar, E., D, Notosudjono, dan Waryani. (2017). Studi Evaluasi Pemanfaatan Sampah Menjadi Biogas Untuk Menghasilkan Energi Listrik (Studi kasus di TPS 3R Taruna Kompos Kelurahan Mulyaharja, TPS 3R Ceremai Kelurahan Cipaku dan TPS 3R Dharmais Kelurahan Kencana Dinas Kebersihan dan Pertamanan Kota Bogor). *Jurnal*

- online mahasiswa Bidang Teknik Elektro Universitas Pakuan, 1(1):1-14.
- Kumar, P., Vijay, V., Thalla, A.K., Dhar, H., and S. Kumar. (2015). Methane Production from Anaerobic Digestion of Organic Fraction in Municipal Solid Waste. *Proceedings of International Conference on Sustainable Energy and Built Environment*, 677-682.
- Lesmana, Rudy Y. (2017). Estimasi Laju Timbulan Sampah dan Kebutuhan Landfill Periode 2018-2027 (Studi Kasus Kec. Mentawa Baru Ketapang, Kab. Kotawaringin Timur, Kalimantan Tengah). *Media Ilmiah Teknik Lingkungan*, 2(2), 20-24.
- Marten, A.L., and S.C. Newbold. (2012). Estimating The Social Cost of Non CO₂ GHG Emission: Methane and Nitrous Oxide. *Energy Policy* 51, 957 – 972.
- Monice dan Perinov. (2018). Analisis Pemanfaatan Energi Dari Pengolahan Metode Landfill Di TPA Muara Fajar Pekanbaru. *Rang Teknik Journal*, 1(2), 215-220. DOI: <https://doi.org/10.31869/rtj.v1i2.700>
- Musyafiq, A.A. dan Cahyo, B.N. (2018). Pemilihan Teknologi Waste To Energy Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (studi kasus: TPA Mojorejo Kabupaten Sukoharjo Jawa Tengah), *Prosiding SNST 9*, 13-18. ISBN 978-602-99334-9-9.
- Osra FA, Ozcan HK, Alzahrani JS, Alsoufi MS. Municipal Solid Waste Characterization and Landfill Gas Generation in Kakkia Landfill, Makkah. *Sustainability*. 2021; 13(3):1462. <https://doi.org/10.3390/su13031462>
- Prajati, G., & Pesurnay, A. (2019). Analisis Faktor Sosiodemografi dan Sosioekonomi Terhadap Timbulan Sampah Perkotaan di Pulau Sumatera. *Jurnal Rekayasa Sipil Dan Lingkungan*, 3(1), 8-16. doi:10.19184/jrsl.v3i1.8721
- Prabowo, S., Pranoto, dan S. Budiastuti. (2019). Estimasi Emisi Gas Rumah Kaca yang Dihasilkan dari Tempat Pemrosesan akhir (TPA) di Jawa Tengah. *Jurnal Bioeksperimen* 5(1), 21-33. Doi:10.23917/bioeksperimen.v5i1.2795
- Rini, T. S. ., Kusuma, M. N. ., Pratiknyo, Y. B. ., & Purwaningrum, S. W. . (2020). Kajian Potensi Gas Rumah Kaca Dari Sektor Sampah di Tempat Pemrosesan Akhir Sampah (TPA) Randegan, Kota Mojokerto. *Journal of Research and Technology*, 6(1), 97–107.
- Sasmita, A., Andesgur, I., dan Rahmi, H. (2016). Potensi Produksi Gas Metana dari Kegiatan Landfilling di TPA Muara Fajar Pekanbaru. *Seminar Nasional Teknik Kimia Teknologi Oleo Petro Kimia*. Pekanbaru.
- Sohoo, I.; Ritzkowski, M.; Sohu, Z.A.; Cinar, S.Ö.; Chong, Z.K.; Kuchta, K. (2021). Estimation of Methane Production and Electrical Energy Generation from Municipal Solid Waste Disposal Sites in Pakistan. *Energies* 14, 2444. <https://doi.org/10.3390/en14092444>
- Sorensen, B. (2007). *Renewable Energy Conversion, Transmission and Storage*. Elsevier Academic Press. Boston.
- Tchobanoglous G., Theisen H., dan Vigil S.A. (1993). *Integrated Solid Waste Management*. McGraw-Hill International Editions: Singapore.
- Utomo, S., & Hariningrum, R. (2020). Pemanfaatan Limbah Sampah Sebagai Energi Alternatif Pembangkit Tenaga Listrik di Semarang. *Marine Science And Technology Journal*, 1(1), 30-37.
- Wahyono, S. (2014). Studi Potensi dan Kualitas Gas dari Tempat Pemrosesan Akhir Sampah Kota Probolinggo. *Jurnal Teknologi Lingkungan*. 16(1):15-20. DOI: <https://doi.org/10.29122/jtl.v16i1.1608>