

## Estimasi Emisi Gas Rumah Kaca dari Limbah Padat dan Air Limbah Domestik di Kota Pekanbaru

Aryo Sasmita<sup>1)</sup>, Elvi Yenie<sup>1)</sup>, Syafrida Khairani<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Riau, Pekanbaru, Riau, Indonesia

E-mail : aryosasmita@lecturer.unri.ac.id

### Abstrak

Kota Pekanbaru merupakan ibu kota Provinsi Riau yang merupakan pusat pemerintahan dan perekonomian dengan tingkat pertumbuhan penduduk yang besar. Kegiatan perkotaan Pekanbaru menghasilkan limbah padat dan air limbah yang jika tidak dikelola akan menimbulkan dampak lingkungan yang merugikan, salah satunya adalah efek Gas Rumah Kaca (GRK). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menghitung nilai emisi dari limbah padat dan air limbah domestik di Kota Pekanbaru. Perhitungan emisi GRK dari kedua sektor tersebut didasarkan pada metode dari KLHK tahun 2012. Pengumpulan data primer dengan menyebarkan kuesioner secara acak kepada responden di setiap kabupaten. Data sekunder diperoleh dari Badan Lingkungan Hidup Pekanbaru dan Dinas Kesehatan Kota Pekanbaru. Hasil penelitian menunjukkan bahwa estimasi emisi CO<sub>2</sub> dari landfilling limbah padat domestik di TPA Muara Fajar adalah 16,649 Gg CO<sub>2</sub>e/tahun, emisi dari pembakaran secara terbuka adalah 74,419 Gg CO<sub>2</sub>e/tahun dan emisi air limbah domestik dari septic tank adalah 122,94 Gg CO<sub>2</sub>e/thn. Total emisi CO<sub>2</sub> dari sektor limbah padat dan air limbah Kota Pekanbaru adalah 214,008 Gg CO<sub>2</sub>e/thn.

**Kata Kunci:** Air Limbah Domestik, Emisi GRK, Landfill, Limbah Padat, Pembakaran terbuka

### Abstract

Pekanbaru City is the capital of Riau Province which is the center of government and economy with a large population growth rate. Urban activities produced solid waste and wastewater which, if not managed, will cause adverse environmental impacts, one of which is the effect of Greenhouse Gases (GHG). The purpose of this study was to determine the value of emissions from domestic solid waste and wastewater in Pekanbaru City. The calculation of GHG emissions from the two sectors is based on the IPCC 2006 refinement 2019. Primary data collection by randomly distributing questionnaires to respondents in each district and secondary data obtained from Pekanbaru Environmental Agency and Pekanbaru City Health Office. The results show that the estimated CO<sub>2</sub> emissions from landfilling of domestic solid waste at the Muara Fajar landfill are 16,649 Gg CO<sub>2</sub>e/year, emissions from open burning are 74,419 Gg CO<sub>2</sub>e/year and domestic wastewater emissions from septic tanks are 122,94 Gg CO<sub>2</sub>e/year. The total CO<sub>2</sub> emission from the solid waste and wastewater sector of Pekanbaru City is 214,008 Gg CO<sub>2</sub>e/yr.

**Keywords:** Domestic Wastewater, GHG Emissions, Landfill, Open Burning, Solid Waste

## 1. PENDAHULUAN

Aktivitas kegiatan domestik masyarakat kota yang padat, akan menghasilkan produk samping berupa polutan yang dapat merusak lingkungan, salah satunya adalah gas buang berupa gas rumah kaca. Gas rumah kaca ini dapat menyebabkan efek rumah kaca yang akan berakibat kepada perubahan iklim dan pemanasan global (Kristanto, 2019). Hasil perhitungan inventarisasi gas rumah kaca nasional menunjukkan tingkat emisi GRK di tahun 2017 sebesar

Dikirim/submitted: 2 Mei 2021

Diterima/accepted: 24 Januari 2022

1.150.772,8 GgCO<sub>2</sub>e, terjadi peningkatan sebesar 124.879 GgCO<sub>2</sub>e dibanding tingkat emisi tahun 2000. Bidang limbah menyumbang sekitar 10% atau sebesar 120.191 GgCO<sub>2</sub>e/tahun untuk total emisi GRK Indonesia pada tahun 2017 (KLHK, 2018). Termasuk didalamnya adalah emisi GRK dari bidang persampahan (limbah padat) dan air limbah perkotaan. Pengelolaan limbah secara terpadu dan berkesinambungan dilakukan sesuai dengan Peraturan Presiden No.61 Tahun 2011 Tentang Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca (Priadie dan Pirngadi, 2014).

Jumlah penduduk Kota Pekanbaru yang tinggi mengakibatkan besarnya timbulan sampah yang ada, namun tidak semua timbulan sampah Kota Pekanbaru semua masuk ke Tempat Pemrosesan Akhir (TPA). Hal ini diperkirakan karena dikelola sendiri oleh masyarakat, dengan cara dibuang ke lahan kosong atau dibakar (Sasmita, dkk. 2016). Di Indonesia hanya 60-70 % sampah yang masuk ke TPA, sementara sisanya 30-40% akan dibuang di sungai, dibakar atau dikelola secara mandiri oleh komunitas masyarakat (Damanhuri, *et al.* 2009). TPA adalah tempat sampah berada dalam tahap terakhir pengelolaannya yang dimulai dari sumber, pemilahan, pewadahan, pengumpulan, pengangkutan, hingga pengolahan (Prabowo, dkk. 2019). Emisi gas rumah kaca dari pengelolaan sampah di TPA umumnya berupa CH<sub>4</sub> dan CO<sub>2</sub>, dimana CH<sub>4</sub> memiliki global warming potensial 21 kali dari CO<sub>2</sub> (Lourero, *et al.* 2013). Untuk pembakaran terbuka dihasilkan adalah GRK berupa gas CO<sub>2</sub> dan CH<sub>4</sub> (Cheng, *et al.* 2020), selain itu diperoleh *Total Suspended Particulate* (Sutrisno dan Wardhana, 2009) dan produk samping berupa asap cair jika dilakukan secara tertutup (Napid, dkk. 2021)

Pengolahan air limbah menghasilkan sumber GRK berupa CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, dan N<sub>2</sub>O ketika diolah secara anaerobik dan akan menghasilkan CO<sub>2</sub> ketika menjadi pembangkit energi (Buadit, *et al.* 2013). Di Kota Pekanbaru terdapat dua sistem pembuangan air limbah domestik yaitu penanganan air limbah dilakukan secara individual pada masing-masing rumah tangga (*Septic Tank*) dan secara komunal memanfaatkan fasilitas pengolahan air limbah domestik komunal.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai emisi CO<sub>2</sub> ekuivalen dari limbah padat dan air limbah domestik di kota Pekanbaru. Emisi GRK dari limbah padat dihitung berdasarkan penanganan sampah di TPA dan dari pembakaran terbuka (*open burning*) yang dilakukan masyarakat sedangkan emisi GRK dari air limbah adalah dari pengolahan limbah menggunakan *septic tank*.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Pengumpulan Data Primer

Pengumpulan data primer dalam penelitian ini dilakukan dengan pendataan jumlah limbah padat domestik yang dibakar secara terbuka dengan melalui kuisisioner. Dikarenakan tidak diketahui dengan jelas berapa jumlah penduduk yang membakar sampah secara terbuka maka untuk menentukan jumlah sampel yang dalam penelitian ini dengan menggunakan persamaan Lameshow dan David (1997) :

$$n = \frac{Z^2 1-\alpha /2 p(1-p)}{d^2} \quad (1)$$

Keterangan:

n = Jumlah sampel minimal yang diperlukan

$Z^2_{1-\alpha/2}$  = tingkat kepercayaan ( $Z = 1,96$  dan  $\alpha = 5\% = 0,05$ )

p = Prevalensi outcome, karena data belum didapat, maka dipakai 50%

d = Tingkat ketelitian = 95%

Setelah dihitung, diperoleh nilai n (jumlah sampel) sebanyak 384 responden. Maka, kuesioner untuk menentukan jumlah sampah yang di bakar secara terbuka akan diberikan kepada minimal 384 responden. Untuk memperoleh hasil yang lebih baik, jumlah responden dijadikan 500 orang. Pemilihan responden dilakukan secara acak terstratifikasi pada 12 Kecamatan di Kota Pekanbaru, dengan perbandingan responden setiap kecamatan dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Perbandingan Jumlah penduduk dan Responden di Setiap Kecamatan Kota Pekanbaru tahun 2019

No	Kecamatan	Jumlah penduduk*) (jiwa)	Persentase penduduk (%)	Jumlah Responden (jiwa)
1	Tampan	181.910	19.06	95
2	Payung Sekaki	94.965	9.95	50
3	Bukit Raya	93.337	9.78	49
4	Marpoyan Damai	130.303	13.65	68
5	Tenayan Raya	136.448	14.30	72
6	Limapuluh	43.461	4.55	23
7	Sail	23.285	2.44	12
8	Pekanbaru Kota	26.645	2.79	14
9	Sukajadi	47.672	5.00	25
10	Senapelan	38.292	4.01	20
11	Rumbai	68.451	7.17	36
12	Rumbai Pesisir	69.604	7.29	36
Total		954.373	100.00	500

Sumber: \*) BPS Kota Pekanbaru, 2020

Satu responden dianggap mewakili satu KK. Pengumpulan data responden dilakukan dengan cara langsung ataupun juga dengan pengisian data dengan *goggle form*. Responden akan diberikan pertanyaan mengenai perlakuan terhadap sampah, apakah di bakar, dibuang ke sungai/parit/ tanah kosong ataukah diangkut oleh petugas.

## 2.2 Pengumpulan Data Sekunder

Data sekunder pada penelitian ini berupa data penduduk pada setiap kecamatan Kota Pekanbaru pada tahun 2019, data sampah yang masuk ke TPA pada tahun 2018 dan 2019, dan data menggunakan *septic tank* tahun 2018 di Kota Pekanbaru.

## 2.3 Pengolahan Data

Proses pengolahan data terdiri dari 3 tahap, yaitu :

### 1. Penghitungan Emisi GRK Limbah Padat Domestik di TPA Muara Fajar 2.

Perhitungan emisi GRK limbah padat domestik terdiri beberapa langkah antara lain (KLH, 2012):

#### a. Langkah 1: Penentuan berat total sampah

Berat timbulan sampah yang masuk TPA di dapat dari massa sampah yang dibawa truk-truk pengangkut sampah ke TPA. Idealnya penentuan berat sampah didasarkan pada hasil penimbangan menggunakan jembatan timbang di TPA.

#### b. Langkah 2: Penentuan komposisi sampah dan *dry matter content*

Komposisi sampah pada suatu kota akan mempengaruhi potensi emisi CH<sub>4</sub> yang dihasilkan. Secara umum, semakin tinggi persentase sampah organik yang *biodegradable* maka akan semakin tinggi pula potensi emisi CH<sub>4</sub> yang akan dihasilkan. Untuk nilai dari komposisi sampah dan *dry matter content* dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Komponen sampah domestik Kota Pekanbaru dan *DOC* sampah berdasarkan IPCC 20019

No	Komponen Sampah	Komposisi Sampah (% berat basah) <sup>*)</sup>	<i>DOC</i> (% berat kering) <sup>**)</sup>
1	Sisa Makanan	33	15
2	Kayu	4	43
3	Kertas	14	40
4	Tekstil	4	24
5	Kaca	2	20
6	Karet/Kulit	4	39
7	Plastik	24	-
8	Logam	1	-
9	Lainnya	14	-
Total		100	-

Sumber: \*) SIPSN, 2018 \*\*) IPCC, 2019

#### c. Langkah 3: Perhitungan jumlah sampah dari masing-masing komponen limbah padat

Jika komposisi sampah dan nilai DOC telah diperoleh lalu, dilanjutkan dengan perhitungan jumlah sampah dari masing-masing komponen sampah.

Jumlah sampah sisa makanan = timbulan sampah di TPA (ton/tahun) x komposisi (%) (2)

d. Langkah 4: Penghitungan massa DDOCm yang terdeposit

Proses dekomposisi DOCm (DDOCm) yang masuk TPA dihitung dengan persamaan 3.

$$\text{DDOCm (T)} = W \times \text{DOC} \times \text{DOCf} \times \text{MCF} \quad (3)$$

dimana:

DDOCmdT = massa DDOC masuk (deposit) TPA di tahun T, Gg

W = massa dari limbah padat yang ditimbun pada tahun T, Ggram

DOC = fraksi degradasi organik karbon (untuk masing masing komponen sampah bisa dilihat di KLH, 2012)

DOCf = fraksi DOC yang dapat terdekomposisi pada kondisi anerobik

MCF = faktor koreksi CH<sub>4</sub> yang terdekomposisi aerobik pada tahun penimbunan limbah (0,8 berdasarkan IPCC)

Setelah diperoleh nilai DDOCm, maka dilanjutkan dengan perhitungan nilai potensi pembentukan CH<sub>4</sub> dengan persamaan 4.

$$L_o = \text{DDOCm} \times F \times 16/12 \quad (4)$$

dimana:

L<sub>o</sub> = potensi pembentukan gas CH<sub>4</sub>, Ggram

F = fraksi CH<sub>4</sub> dalam timbulan gas di TPA (0,5 berdasarkan IPCC 2019)

16/12 = Rasio berat molekul CH<sub>4</sub>/C

e. Langkah 5: Penghitungan massa DDOCm yang terakumulasi dan terdekomposisi di TPA

DDOCm yang terakumulasi di TPA dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 5.

$$\text{DDOCma}_T = \text{DDOCmd}_T + (\text{DDOCma}_{T-1} \times e^{-k}) \quad (5)$$

dimana:

T = tahun inventarisasi

k = konstanta reaksi (dapat dilihat di pedoman KLH, 2012)

DDOCma<sub>T</sub> = DDOCm terakumulasi di SWDS pada akhir tahun T,

Gg DDOCma<sub>T-1</sub> = DDOCm terakumulasi di SWDS pada akhir tahun (T-1)

$$\text{DDOCmdekomposisi}_T = \text{DDOCma}_{T-1} \times (1 - e^{-k}) \quad (6)$$

dimana:

T = tahun inventarisasi

k = konstanta reaksi

DDOCmdekom<sub>T</sub> = DDOCm masuk ke TPA yang dapat terdekomposisi di tahun T, Gg

DDOCma<sub>T-1</sub> = DDOCm terakumulasi di TPA pada akhir tahun (T-1)

f. Langkah 6: Penentuan potensi pembentukan (*generation*) gas CH<sub>4</sub>

Potensi pembentukan CH<sub>4</sub> dari decomposable DDOC<sub>m</sub> (massa *degradable material organic* sampah yang ditimbun di TPA yang terdekomposisi) dapat diperkirakan dengan menggunakan persamaan 7.

$$\text{CH}_4 \text{ generated}_T = \text{DDOC}_{m\text{decomp}_T} \times F \times \frac{16}{12} \quad (7)$$

dimana:

CH<sub>4</sub>, generated T = CH<sub>4</sub> yang terbentuk pada tahun T hasil dekomposisi komponen organik yang tersimpah di dalam sampah

DDOC<sub>mdecomp</sub><sub>T</sub> = DDOC<sub>m</sub> yang terdekomposisi pada tahun T, Gg

F = fraksi CH<sub>4</sub> dalam timbulan gas di TPA (0,5 berdasarkan IPCC)

16/12 = rasio berat molekul CH<sub>4</sub>/C

g. Langkah 7: Penghitungan Emisi CO<sub>2</sub> ekuivalen

CH<sub>4</sub> yang diemisikan dari sampah padat kota yang dibuang di TPA untuk satu tahun dapat diperkirakan dari persamaan 8. CH<sub>4</sub> terbentuk akibat terdegradasinya material organik yang terdapat pada sampah pada kondisi anaerobik. Sebagian gas CH<sub>4</sub> yang terbentuk ini akan teroksidasi di permukaan timbunan sampah, diambil (*recovery*) untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi, atau dibakar. Dengan demikian, gas CH<sub>4</sub> yang diemisikan sesungguhnya lebih kecil dibandingkan jumlah yang terbentuk.

$$\text{Emisi CH}_4 \text{ pada tahun T, Gg gram} = [\sum_x \text{CH}_4 \text{ generated}_{x,T} - R_T] \times (1 - \text{OX}_T) \quad (8)$$

dimana:

T = tahun inventarisasi

X = tipe atau jenis limbah

R<sub>T</sub> = CH<sub>4</sub> yang di recovery untuk dimanfaatkan atau di flare pada tahun T (0 berdasarkan IPCC)

OX<sub>T</sub> = faktor oksidasi pada tahun T (0,1 berdasarkan IPCC)

CH<sub>4</sub>generated<sub>x,T</sub> = CH<sub>4</sub> yang terbentuk pada tahun T hasil dekomposisi komponen organik jenis tertentu (x) yang tersimpan di dalam sampah

Emisi CH<sub>4</sub>, = CH<sub>4</sub> yang diemisikan dari sampah padat di TPA untuk 1 tahun

Setelah diperoleh hasil emisi CH<sub>4</sub>, dikonversinya untuk memperoleh hasil emisi CO<sub>2</sub>. Hal tersebut dapat diperoleh dengan persamaan 9.

$$\text{Emisi CO}_2 \text{ ekuivalen} = \text{Emisi CH}_4 \times 21 \quad (9)$$

dimana :

21 = faktor konversi CH<sub>4</sub> ke CO<sub>2</sub>

## 2. Penghitungan Emisi GRK dari Pembakaran Secara Terbuka

### a. Penghitungan Emisi CO<sub>2</sub> dari Pembakaran Secara Terbuka

Berdasarkan IPCC 2019 *Guidelines*, emisi GRK pembakaran limbah padat dengan pembakaran terbuka adalah CO<sub>2</sub> dengan tingkat emisi:

$$\text{Emisi CO}_2 = \text{MSW} \times \sum_j (\text{dm}_j \times \text{CF}_j \times \text{FCF}_j \times \text{OF}_j) \times \frac{44}{12} \dots(10)$$

dimana:

Emisi CO<sub>2</sub> = emisi-emisi CO<sub>2</sub> dalam tahun inventori, Gg gram/th

MSW = jumlah total dari limbah padat perkotaan sebagai berat- basah pembakaran terbuka, Gg gram/th

Dm<sub>j</sub> = kandungan zat-kering dalam komponen j pada MSW pembakaran terbuka, (fraksi)

CF<sub>j</sub> = fraksi karbon dalam bahan kering (kandungan karbon) pada komponen j

FCF<sub>j</sub> = fraksi fosil karbon dalam total karbon pada komponen j

Of<sub>j</sub> = faktor oksidasi, (fraksi)

44/12 = faktor konversi dari C ke CO<sub>2</sub>

### b. Penghitungan Emisi CH<sub>4</sub> dari Pembakaran Secara Terbuka

Adapun untuk menghitung emisi CH<sub>4</sub> dari pembakaran secara terbuka menggunakan rumus

11.

$$\text{Emisi CH}_4 = \text{MSW} \times \text{Faktor Emisi CH}_4 \quad (11)$$

dimana:

Emisi CH<sub>4</sub> = emisi-emisi CH<sub>4</sub> dalam tahun inventori, Ggram/th

MSW = jumlah total dari limbah padat perkotaan sebagai berat- basah pembakaran terbuka, Ggram/th

## 3. Penghitungan Emisi GRK dari Air Limbah Domestik

Perhitungan emisi GRK dari air limbah domestik berdasarkan jumlah limbah *blackwater* (feses dan urine) yang dihasilkan. Karena *blackwater* akan dikumpulkan di *septic tank* untuk setiap rumah, sehingga emisi GRK berdasarkan jumlah penduduk yang memiliki *septic tank*.

$$\text{Total emisi CH}_4 = \text{massa CH}_4 \text{ feces} + \text{massa CH}_4 \text{ urine} \quad (12)$$

$$\text{Total emisi CO}_2 = \text{massa CO}_2 \text{ feces} + \text{massa CO}_2 \text{ urine} \quad (13)$$

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Perlakuan Masyarakat Kota Pekanbaru Dalam Pengelolaan Sampah Domestik

Setelah dilakukan penyebaran kuesioner secara acak dan wawancara singkat, kemudian diperoleh persentase perlakuan sampah dikota pekanbaru, yang bisa dikelompokkan menjadi 3, yaitu: diangkut petugas ke TPA, dibuang ke sungai/lahan kosong, ataupun dibakar secara terbuka. Pembakaran sampah secara terbuka adalah pembakaran sampah tanpa ada pemilahan sampah dan tanpa pengendalian penambahan udara yang menyebabkan pembakaran non

efektif dan menghasilkan asap dan emisi lainnya yang tidak terkontrol (Wahyudi, 2019). Dari data persentase perlakuan sampah dan data sampah yang masuk ke TPA tahun 2019 sebesar 171.595 ton/tahun, dibuat perkiraan timbulan sampah domestik kota pekanbaru berdasarkan perlakuan sampah oleh masyarakat pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Perkiraan timbulan sampah pada masing-masing perlakuan sampah.

<b>Perlakuan terhadap sampah</b>	<b>Persentase (%)</b>	<b>Perkiraan timbulan sampah (ton/tahun)</b>
Dibakar secara terbuka	19.8	50.409
Dibuang ke sungai/lahan kosong	13.2	33.606
Diangkut petugas ke TPA	67.4	171.595
Total	100.0	255.610

Data diatas menunjukkan persentase masyarakat Kota Pekanbaru yang melakukan pengolahan sampahnya, yaitu dibakar secara terbuka sebesar 19,9% (97 responden), dibuang ke sungai/lahan kosong sebesar 13,2 % dan 67,4% sampahnya diangkut oleh petugas ke TPA. Persentase masyarakat yang paling banyak melakukan kegiatan pembakaran secara terbuka ini terdapat di Kecamatan Tenayan Raya sebesar 25% dan terendah di Kecamatan Sukajadi sebesar 15%. Dari hasil survei dan wawancara, diketahui alasan membakar sampah dikarenakan fasilitas pengelolaan persampahan seperti jumlah Tempat Pengumpulan Sementara (TPS) yang ada tidak mencukupi. Beberapa masyarakat juga menyebutkan di tempat tinggalnya tidak dilayani sistem pengangkutan sampah atau telah memiliki sistem pengangkutan sampah namun, jadwal pengangkutan terlalu lama, yaitu 1 minggu sekali. Selain itu juga karena ada pula perilaku masyarakat yang tidak mau mengeluarkan uang untuk membayar pengangkutan sampah, sehingga lebih memilih untuk membakar sampah. Persentase sampah yang masuk ke TPA adalah 67,4%, ini sesuai dengan pernyataan Damanhuri, *et al.* (2009), bahwa di Indonesia persentase sampah yang terangkut ke TPA hanya 60-70%. Nilai pembakaran sampah secara terbuka ini lebih kecil daripada penelitian Octavia, dkk. (2015) di Kecamatan Sungai Kakap, Kabupaten Kubu Raya sebesar 66,4%. Menurut penelitian Armayanti, dkk (2021) pembakaran terbuka di Kota Pontianak hanya sebesar 9,64%.

Dari Tabel 3, diketahui perkiraan timbulan sampah berdasarkan persentase perlakuan sampah di Kota Pekanbaru, adalah sampah yang di bakar secara terbuka adalah sebesar 50.409 ton/tahun, sampah yang di buang sungai/lahan kosong adalah sebesar 33.606 ton/tahun dan sampah yang diangkut ke TPA sebesar 171.595 ton/tahun.

**3.2 Perhitungan Emisi dari *Landfill* di TPA Muara Fajar 2 Kota Pekanbaru** Timbulan sampah yang masuk di TPA Muara Fajar 2 sangat erat kaitannya dengan jumlah penduduk yang terdapat di kota Pekanbaru. Pertumbuhan penduduk yang semakin besar tentu menimbulkan jumlah timbulan sampah yang semakin besar. Hal tersebut juga akan menunjukkan bahwa nilai emisi CO<sub>2</sub> dan CH<sub>4</sub> akan semakin meningkat pula. TPA Muara Fajar 2 Pekanbaru adalah satu-satunya TPA di Kota Pekanbaru setelah TPA muara Fajar 1 dinyatakan penuh dan tidak lagi di gunakan untuk membuang sampah penduduk Kota Pekanbaru. Semua sampah yang berasal dari TPS-TPS di setiap Kecamatan akan diangkut ke TPA ini. Karena besar sebagian sampah yang ada di TPA Muara Fajar Pekanbaru ini adalah sampah organik yang berupa sisa makanan dari seluruh masyarakat Kota Pekanbaru, sehingga berpotensi menghasilkan gas metana jika dilakukan produksi biogas. TPA Muara Fajar 2 ini baru beroperasi sejak tahun 2018.

Jumlah timbulan sampah yang masuk TPA Muara Fajar Pekanbaru tahun 2018 dan 2019 berturut-turut adalah sebanyak 189.082 ton/tahun dan 171.595 ton/tahun (DLHK Kota Pekanbaru, 2020). Jumlah tersebut diperoleh dari massa sampah yang dibawa truk-truk pengangkut sampah dari TPS dan rumah-rumah warga menuju ke TPA. Lalu, truk-truk pembawa sampah itu akan ditimbang secara langsung (truk + sampah yang diangkut) dengan menggunakan jembatan timbang dan hasilnya akan tercatat.

Secara umum, semakin tinggi persentase sampah organik yang *biodegradable* maka akan semakin tinggi pula potensi emisi CH<sub>4</sub> yang akan dihasilkan. Menurut IPCC (2019), komposisi sampah yang diperhitungkan sebagai sampah yang membentuk biogas dari kegiatan *landfilling* di TPA adalah sampah sisa makanan, kayu, kertas, tekstil, daun, dan karet/kulit. Untuk persentase komposisi sampah tersebut diperoleh dari Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) yang dikelola langsung oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nasional tahun 2018 dapat dilihat dari Tabel 2.

Untuk menghitung jumlah sampah pada setiap komponen limbah dapat digunakan persamaan 2 dan Tabel 2. Untuk menghitung massa DDOC<sub>m</sub> yang terdeposit pada tahun 2019 digunakan persamaan 2.3. Setelah diperoleh nilai DDOC<sub>m</sub>, maka dilanjutkan dengan perhitungan nilai potensi pembetukan CH<sub>4</sub> (Nilai Lo) dengan menggunakan persamaan 2.4. Untuk menghitung massa DDOC<sub>m</sub> yang terakumulasi pada tahun 2019 digunakan persamaan 2.5. Untuk menghitung massa DDOC<sub>m</sub> yang terdekomposisi pada tahun 2019 digunakan persamaan 2.6.

Untuk menghitung potensi pembentukan (*generation*) gas CH<sub>4</sub> pada tahun 2019 digunakan persamaan 2.7.

Emisi gas metan yang terbentuk tahun 2019 adalah hasil akumulasi dari penjumlahan sampah yang ditimbun pada tahun 2019 ditambah sampah yang telah ditimbun pada tahun sebelumnya, tahun 2018. Perhitungan hanya untuk tahun 2018 dan 2019, mengingat TPA muara fajar 2 baru mulai dioperasikan pada awal tahun 2018. Untuk lebih lengkapnya, hasil emisi dari TPA Muara Fajar Pekanbaru tahun 2019 dapat dilihat pada Tabel 4.

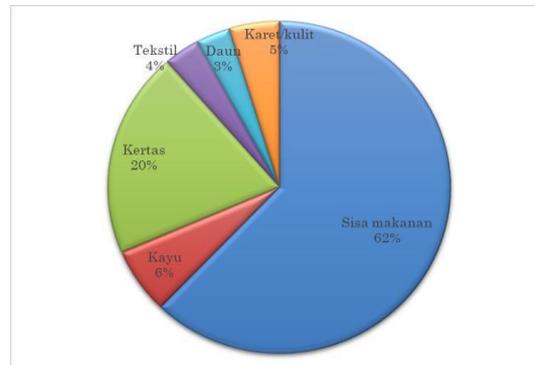
**Tabel 4.** Hasil Perhitungan Emisi CH<sub>4</sub> dari Masing-Masing Komponen Sampah tahun 2019

No	Jenis Sampah	Jumlah Sampah (ton/tahun)	DDOCm terdeposit (ton/tahun)	Nilai Lo (ton/tahun)	DDOCm <sub>T-1</sub> x e <sup>-k</sup>	DDOCm Terakumulasi (ton/tahun)	DDOCm Terdekomposisi (ton/tahun)	Generation gas CH <sub>4</sub> (ton/tahun)
1	Sisa Makanan	56.626	4756.613	3171.076	4350.323	9106.936	739.55	493,0366
2	Kayu	68.638	2361.147	1574.098	2523.715	4884.862	75.71	50,4743
3	Kertas	24.023	3843.728	2562.485	3981.311	7825.039	238.88	159,2524
4	Tekstil	6.864	658.925	439.283	682.510	1341.435	40.95	27,3004
5	Daun	3.432	384.373	256.249	381.189	765.562	38.12	25,4126
6	Karet/kulit	6.864	1070.753	713.835	1120.878	2191.631	56.04	37,3626
	total	171.595						792,839

Berdasarkan Tabel 4 dapat dilihat bahwa total emisi CH<sub>4</sub> sebesar 792,839 ton CH<sub>4</sub>/tahun (0,792839 Ggram CH<sub>4</sub>/tahun), dengan menggunakan persamaan 9 emisi CO<sub>2</sub> ekivalennya adalah sebesar 16,649 Ggram CO<sub>2</sub>/tahun. Jika dibanding dengan penelitian yang dilakukan oleh Rini, dkk (2020), emisi CO<sub>2</sub> di TPA Muara Fajar 2 ini lebih besar dari pada emisi CO<sub>2</sub> di TPA Randegan Mojokerto yang mencapai 4,449 Ggram/tahun. Pada penelitian Sofriadi, dkk. (2017) emisi CO<sub>2</sub> dari kecamatan Ulee Karen, Banda Aceh mencapai 143,43 Mton CO<sub>2</sub>/tahun.

Berdasarkan Tabel 4, digambarkan grafik berupa *pie chart* untuk persentase hasil perhitungan potensi pembentukan gas CH<sub>4</sub> dari setiap komposisi sampah yang dapat dilihat pada Gambar 1. Gambar 1 menunjukkan bahwa emisi potensi pembentukan gas CH<sub>4</sub> dari yang tertinggi ke terendah sisa makanan (62%), kertas (20%), kayu (6%), karet/kulit (5%), tekstil (4%), dan daun (3%). Hasil ini memiliki kesamaan seperti penelitian Anifah, dkk. (2021) yang komposisi terbesar adalah sampah organik dan kertas yang totalnya mencapai 76%. Dari Tabel 2 terdapat komponen karet/kulit, plastik dan logam, namun ke 3 komponen tersebut termasuk komponen yang sulit terurai sehingga tidak termasuk dalam perhitungan (Kustiasih, dkk. 2014). Potensi pembentukan gas CH<sub>4</sub> dipengaruhi oleh jumlah masing-masing komposisi

sampah, persentase komposisi sampah, nilai DOC, DOCf, dan konstanta reaksi dari masing-masing komponen sampah yang bisa dilat di KLH (2012).



**Gambar 2.** Persentase Pembentukan Gas CH<sub>4</sub> dari masing-masing Komponen Sampah

### 3.3 Perhitungan Emisi GRK Dari *Open Burning*

Untuk menghitung emisi CO<sub>2</sub> ekuivalen dari sampah yang dibakar secara terbuka (*open burning*) di Kota Pekanbaru tahun 2019 menggunakan persamaan 2.10 dan 2.11. Perhitungan perkiraan jumlah sampah yang diperlakukan dengan pembakaran terbuka berdasarkan Tabel 3 adalah sebesar 50.409 ton/tahun. Berdasarkan perhitungan, Emisi CO<sub>2</sub> dari pembakaran secara Terbuka (*open burning*) yaitu sebesar 67,538 Gg CO<sub>2</sub>/tahun. Sementara itu, Emisi CH<sub>4</sub> dari pembakaran secara terbuka (*open burning*) yaitu sebesar 6,881 Gg CO<sub>2</sub> ekuivalen /tahun, sehingga emisi CO<sub>2</sub> total yaitu sebesar 74,419 Gg CO<sub>2</sub> ekuivalen/tahun.

Pembakaran sampah secara terbuka merupakan salah satu alternatif pengelolaan sampah yang banyak dipilih oleh masyarakat di Kota Pekanbaru. Di satu sisi, pembakaran sampah merupakan metode pengelolaan sampah yang mudah dan murah untuk menghilangkan sampah. Di sisi lain, pembakaran sampah memberikan dampak negatif bagi lingkungan dan kesehatan. Salah satu dampak negatif pembakaran sampah adalah munculnya emisi gas rumah kaca.

### 3.4 Perhitungan Emisi GRK dari Air Limbah Kota Pekanbaru

Proses pengolahan limbah domestik yang terjadi pada tangki septik adalah proses pengendapan dan stabilisasi secara anaerobik. Tangki septik bisa dianggap sebagai proses pengolahan awal (primer). Untuk menghitung nilai emisi air limbah domestik dari *septic tank* ini pertama dicari dulu massa CO<sub>2</sub> dan CH<sub>4</sub> dari feces dan urine. Berdasarkan Suparman (2002) dan Liu (2008) berat kering rata-rata *feces* 52,5 gr/org.hari dan MR *feces* = 24,192. Dari perhitungan didapatkan massa mol CH<sub>4</sub> dan CO<sub>2</sub> untuk feces adalah masing-masing

18,78 gr/org.hari dan 43,83 gr/org.hari. Sedangkan untuk urine dengan berat kering rata-rata adalah 60 gr/org.hari dan Molekul relatif (MR) *urine* = 50.274, akan didapatkan massa mol CH<sub>4</sub> dan CO<sub>2</sub> untuk urine adalah masing-masing 2,5 gr/org.hari dan 45,58 gr/org.hari. karena pada septic tank urine dan feses digabungkan sehingga didapatkan emisi CH<sub>4</sub> adalah 14,62 gr/org.hari dan emisi CO<sub>2</sub> adalah 67,20 gr/org.hari.

Berdasarkan data Dinas Kesehatan Kota Pekanbaru (2018) jumlah *septic tank* yang ada di Kota Pekanbaru tercatat sejumlah 225.622 unit dan rata-rata satu KK terdiri dari 4 anggota keluarga (BPS Kota Pekanbaru, 2020). Oleh karena itu emisi CH<sub>4</sub> dan CO<sub>2</sub> untuk satu KK menjadi menjadi masing-masing 58,48 g/hari.KK dan 268,80 gr/hari.KK. Kemudian dihitung emisi CH<sub>4</sub> dan CO<sub>2</sub> dari air limbah domestik Kota Pekanbaru untuk 1 tahun dan didapatkan hasil yaitu sebesar 100,8 Gg CO<sub>2</sub> ekuivalen/thn untuk total emisi CH<sub>4</sub>/thn ; 22,14 Gg/tahun untuk total emisi CO<sub>2</sub>/thn, sehingga total emisi CO<sub>2</sub>/thn ekuivalen adalah sebesar 122,94 Gg CO<sub>2</sub> ekuivalen/thn.

Jumlah emisi gas CH<sub>4</sub> dan CO<sub>2</sub> dari *septic tank* ini berbanding lurus dengan jumlah penduduk yang menggunakan *septic tank* pada suatu daerah. Semakin banyak yang menggunakan *septic tank* maka akan semakin tinggi pula emisi gas CH<sub>4</sub> dan CO<sub>2</sub> yang dihasilkan. Nureini dan Ashuri (2018) mengatakan perhitungan emisi CH<sub>4</sub> dan CO<sub>2</sub> di lapangan dipengaruhi oleh kondisi lingkungan dalam unit pengolahan limbah. Pembentukan gas metan dan karbondioksida sangat sensitif terhadap perubahan kondisi lingkungan dalam unit pengolahan air limbah, seperti perubahan temperatur, beban organik, komposisi air limbah, dan faktor lainnya. Penelitian Kustiasih dan Medawati (2017) menyebutkan bahwa emisi CH<sub>4</sub> dan CO<sub>2</sub> yang dihasilkan dari *septic tank* konvensional akan lebih besar daripada menggunakan media melekat seperti biofilter.

### 3.5 Total Emisi GRK dari Limbah Padat Dan Air Limbah Domestik Kota Pekanbaru

Total emisi gas rumah kaca dari sektor limbah padat dan air limbah domestik kota pekanbaru dapat dilihat pada Tabel 5. Dari tabel 5 diketahui bahawa prediksi total emisi CO<sub>2</sub> ekuivalen/thn dari sektor limbah padat dan air limbah domestik Kota Pekanbaru adalah sebesar 214,008 Gg CO<sub>2</sub> ekuivalen/thn. Dengan sumber emisi terbesar berasal dari air limbah/*septic tank*, hal ini dikarenakan proses dekomposisi air limbah domestik *blackwater* berupa *feces* dan *urine* terjadi lebih cepat daripada dekomposisi limbah padat, ditambah lagi tingkat pemakaian *septic tank* pekanbaru yang tinggi sebesar 88,74%. Emisi CO<sub>2</sub> ekuivalen pembakaran terbuka (*open burning*) lebih besar daripada emisi dari kegiatan *landfilling* di

TPA, walaupun jumlah sampah yang diolah di TPA lebih besar. Hal ini menunjukkan bahwa kegiatan *landfilling* di TPA lebih ramah lingkungan daripada pembakaran secara terbuka yang dilakukan oleh masyarakat.

**Tabel 5.** Total emisi CO<sub>2</sub> ekuivalen/thn dari sektor limbah padat dan air limbah domestik kota pekanbaru

No	Sumber Emisi Domestik	Besaran Emisi (Gg CO <sub>2</sub> ekuivalen/thn)
1	<i>Landfilling</i> di TPA	16,649
2	Pembakaran Secara Terbuka	74,419
3	Air limbah / <i>Septic Tank</i>	122,940
	Total	214,008

#### 4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini diketahui estimasi emisi CO<sub>2</sub> ekuivalen dari pengelolaan limbah padat di TPA Muara fajar adalah 16,649 Gg CO<sub>2</sub>e/tahun, emisi dari proses *open burning* adalah 74,419 Gg CO<sub>2</sub>e/tahun dan emisi air limbah domestik dari *septic tank* adalah 122,94 Gg CO<sub>2</sub> ekuivalen/thn. Total emisi CO<sub>2</sub> ekuivalen/thn dari sektor limbah padat dan air limbah domestik Kota Pekanbaru adalah 214,008 Gg CO<sub>2</sub> ekuivalen/thn.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Anifah, E.M., Rini, I.D.W.S., Hidayat, R., dan Ridho, M. (2021). Estimasi Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) Kegiatan Pengelolaan Sampah di Kelurahan Karang Joang, Balikpapan. *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*, 13(1):17-33.
- Armayanti, S., Fitriyaningsih, Y., dan Ruliyansyah, A. (2021). Analisis Kebutuhan Vegetasi di Perumahan Berdasarkan Jumlah Emisi Gas Rumah Kaca (CO<sub>2</sub>eq) Dari Aktivitas Perumahan di Kota Pontianak. *Jurnal Rekayasa Lingkungan Tropis*, 5(2): 1-10.
- Badan Pusat Statistik (BPS) Kota Pekanbaru. 2020. *Pekanbaru dalam angka tahun 2019*.
- Buadit, T., Aroonsrimorakot, S., Bhaktikul, K., and Thavipoke, B. (2013). Biogas Production and Greenhouse Gases Reduction from Wastewater at Mahidol University, Salaya campus, Thailand. *APCBEE Procedia* 5 :169 – 174.
- Cheng, K., Hao, W., Wang, Y., Yi, P., Zhang, J., and Ji, W. (2020). Understanding the emission pattern and source contribution of hazardous air pollutants from open burning of municipal solid waste in China. *Environmental Pollution* 263
- Damanhuri, E., Wahyu, IM., Ramang, R., and Padmi, T. (2009). Evaluation of municipal solid waste flow in the Bandung metropolitan area, Indonesia. *J Mater Cycles Waste Manag*, 11: 270– 6
- Dinas Kesehatan Kota Pekanbaru. (2018). *Profil Kesehatan Kota Pekanbaru tahun 2017*.

- Dinas Lingkungan Hidup dan Kebersihan (DLHK) Kota Pekanbaru. (2020). Rekapitulasi Timbulan Sampah yang masuk ke TPA Muara Fajar 2 Kota Pekanbaru tahun 2018 dan 2019.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2019). “*Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*”. Japan: Institute for global environmental strategies (IGS)
- Kementerian Lingkungan Hidup (KLH). (2012). *Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional. Buku II Volume 4 Metodologi Penghitungan Tingkat Emisi Gas Rumah Kaca Pengelolaan Limbah*. Jakarta: Kementrian Lingkungan Hidup.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK). (2018). *Laporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca dan Monitoring, Pelaporan Verifikasi Tahun 2018*. Jakarta: Kementrian Lingkungan Hidup.
- Kristanto, G.A and Koven, W. Estimating greenhouse gas emissions from municipal solid waste management in Depok, Indonesia. *City and Environment Interactions*, 4.
- Kustiasih, T dan Medawati, I. 2017. Kajian Potensi Gas Metan (CH<sub>4</sub>) dari Pengolahan Air Limbah Domestik Sebagai Upaya Mitigasi Emisi Gas Rumah Kaca. *Masalah Bangunan*, 52(1):30-28.
- Kustiasih, T., Setyawati, L.M., Anggraeni, F., Darwati, S., dan Aryenti. 2014. Faktor Penentu Emisi Gas Rumah Kaca dalam Pengelolaan Sampah Perkotaan. *Jurnal Permukiman*, 9(2):78-90.
- Lemeshow, S dan David W.H. Jr, 1997. *Besar Sampel dalam Penelitian Kesehatan (terjemahan)*. Yogyakarta : Gadjahmada University Press
- Liu, N., Ru, Y.J., and Li, F.D., and Cowieson, A.J. (2008). Effect of diet containing phytate and phytase on the activity and messenger ribonucleic acid expression of carbohydrase and transporter in chickens. *Journal of Animal Science*, 86:3432-3439.
- Loureiro, S.M., Rovere, E.L.L., and Mahler, C.F. (2013). Analysis of potential for reducing emissions of greenhouse gases in municipal solid waste in Brazil, in the state and city of Rio de Janeiro. *Waste Management* 33, 1302–1312
- Napid, S., Setiabudi, R., dan Susanto, E. (2021). Pembakaran Sampah Anorganik Menimbulkan Dampak Positif Dengan Perolehan Asap Cair Bagi Masyarakat Lingkungan IX Kecamatan Amplas. *Jurnal Pengabdian Mitra Masyarakat (JURPAMMAS)*, 1(1): 30-36.

- Nuraeni, R dan A. Ashuri. (2018). Nilai Faktor Emisi Spesifik Air Limbah pada Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Komunal. *Widyariset*, 4(1):37 – 48.
- Octavia, D., Fitrianiingsih, Y., dan Jati, D.R. (2015). Analisis Beban Emisi CO<sub>2</sub> Dan CH<sub>4</sub> dari Kegiatan Pembakaran Sampah Rumah Tangga Secara Terbuka (Studi Kasus Kecamatan Sungai Kakap, Kabupaten Kubu Raya). *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah* 3(1): 1-10.
- Prabowo, S., Pranoto dan Budiastuti, S. (2019). Estimasi Emisi Gas Rumah Kaca yang Dihasilkan dari Tempat Pemrosesan akhir (TPA) di Jawa Tengah. *Jurnal Bioeksperimen*, 5(1):21-33.
- Priadie, B dan Pirngadi, B.H. (2014). Simulasi Pencapaian Target Rencana Aksi Nasional Mitigasi Gas Rumah Kaca Sektor Air Limbah. *Jurnal Sumber Daya Air*, 10(2): 151-164.
- Rini, T.S., Kusuma, M.N., Pratiknyo, Y.B., dan 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 Indonesia*. Pekanbaru, Indonesia, 1-2 Oktober
- Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN). (2018). Diakses 15 Januari 2020.
- Soeparman. (2002). Pembuangan Tinja dan Limbah Cair. Jakarta: EGC.
- Sofriadi, D., Suhendrayatna dan Fatimah E. (2017). Estimasi Emisi Karbon Dari Sampah Permukiman Dengan Metode Ipcc Di Kecamatan Ulee Kareng, Banda Aceh. *Jurnal Teknik Sipil UNSYIAH*, 1(2):338-248.
- Sutrisno, E dan Wardhana, I.W. (2009). Penentuan Faktor Emisi TSP dari Pembakaran Sampah Domestik Secara Terbuka di Kelurahan Tembalang, Meteseh dan Bulusan, Kecamatan Tembalang, Semarang. *Jurnal PRESIPITASI*, 6(1): 47-51.
- Wahyudi, J. (2019). Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) dari Pembakaran Terbuka Sampah Rumah Tangga Menggunakan Model IPCC. *Jurnal Litbang*, 15(1):65-76