
POTENSI PEMANFAATAN EMISI CH₄ DARI SEKTOR LIMBAH CAIR DOMESTIK SEBAGAI ENERGI LISTRIK DI KOTA CIMAHI

Bella Christina, Nandra Dwi N. dan Nasharah Syifa R.
Program Studi Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Nasional Bandung
Email: bellachrtn@mhs.itenas.ac.id

ABSTRAK

Pemanasan global menjadi perhatian Negara Indonesia yang rawan terhadap perubahan iklim. Hal ini disebabkan oleh Gas Rumah Kaca (GRK), salah satunya dari sektor limbah cair domestik yang pengkajiannya masih jarang dilakukan di Jawa Barat. Gas metana (CH₄) adalah parameter GRK yang memiliki potensi pemanasan global 25 kali lebih besar dibandingkan CO₂. Kota Cimahi terklasifikasi sebagai kota besar dengan kepadatan penduduk sedang, pelayanan pengelolaan air limbah domestik sistem *off site* hanya 0,24%. Penelitian ini bertujuan untuk menghitung beban emisi GRK di Kota Cimahi menggunakan metode *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 2006*, serta menjadi salah satu upaya untuk mencapai *Sustainable Development Goals (SDG's)* dalam menurunkan emisi GRK dengan memanfaatkannya menjadi ekonomi makro dalam bentuk energi listrik. Beban emisi CH₄ pada tahun 2020 sebesar 0,078 Gg CH₄/tahun. Emisi CH₄ yang dapat dimanfaatkan sebesar 42.860,0833 m³/tahun dengan energi listrik yang dihasilkan sebesar 478.747,13 kWh, maka nilai ekonomis yang dapat diperoleh sebesar Rp. 647.266.199.

Kata kunci: CH₄, Energi Listrik, GRK, Limbah Cair Domestik, SDG's

ABSTRACT

Global warming is a concern for Indonesia, which is prone to climate change. This is caused by Greenhouse Gases (GHG), one of which is from the domestic wastewater sector whose studies are still rarely carried out in West Java. Methane gas (CH₄) is a GHG parameter that has a global warming potential 25 times greater than CO₂. Cimahi City is classified as a large city with a moderate population density, the service for off-site domestic wastewater management is only 0.24%. This study aims to calculate the GHG emission load in Cimahi City using the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 2006 method, as well as being one of the efforts to achieve the Sustainable Development Goals (SDG's) in reducing GHG emissions by utilizing it into macroeconomics in the form of electrical energy. CH₄ emission burden in 2020 is 0,078 Gg CH₄/year. The CH₄ emission that can be utilized is 42.860,0833 m³/year with the generated electrical energy of 478.747,13 kWh, then the economic value that can be obtained is Rp. 647.266.199.

Keywords: CH₄, Domestic Wastewater, Electrical Energy, GHG, SDG's

PENDAHULUAN

Pemanasan global telah menjadi isu dan perhatian seluruh negara, *International Panel on Climate Change* (IPCC) (2006) menyatakan, kenaikan suhu pada kurun waktu 1990-2005 meningkat sebesar 0,15-0,3°C dan diperkirakan akan terus meningkat hingga 1,6- 4,2°C di tahun 2050. Indonesia termasuk sebagai negara yang rawan terhadap dampak perubahan iklim. Pada forum internasional *Group of 20* (G-20), Indonesia telah berkomitmen dalam mengatasi pemanasan global dan perubahan iklim, yang secara eksplisit tercantum dalam Peraturan Presiden Nomor 61 tahun 2011 tentang Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca (RAN-GRK) yang mencakup 5 sektor, antara lain: kehutanan, pertanian, energi dan transportasi, industri, dan limbah.

Sektor limbah merupakan salah satu sektor penting pada RAN-GRK, namun penelitian mengenai emisi Gas Rumah Kaca (GRK) dari air limbah domestik di Indonesia pada 10 tahun terakhir masih terbatas. Berdasarkan penelusuran melalui *google scholar*, dalam kurun waktu 5 tahun (2015-2020) terdapat kurang dari 5 penelitian terkait emisi GRK sektor limbah cair domestik, umumnya dilakukan untuk sektor limbah padat (sampah), energi, pertanian dan peternakan. Lebih jauh, di Jawa Barat, penelitian dan pemanfaatan mengenai emisi GRK dari sektor limbah cair domestik belum banyak dilakukan. Namun, berdasarkan kesepakatan yang tercantum dalam RAN-GRK terdapat target penurunan GRK sektor limbah cair domestik pada tahun 2020 sebesar 2,0 juta Gton CO₂eq, diimplementasikan dalam Peraturan Gubernur Jawa Barat No. 56 Tahun 2012 mengenai Rencana Aksi Daerah Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca (RAD-GRK) Provinsi Jawa Barat dengan target pengurangan 193,66 juta Gton CO₂eq untuk periode 2014-2018 (Pergub Jawa Barat, 2012).

Kota Cimahi merupakan salah satu kota besar yang berada di Provinsi Jawa Barat dengan jumlah penduduk 614.304 jiwa dan memiliki luas wilayah 4.182 Ha, sehingga kepadatan penduduk di kota ini mencapai 15.281 jiwa/km². Berdasarkan data tata guna lahan di Kota Cimahi, sektor penggunaan

lahan diantaranya terbagi untuk pemukiman, perdagangan, pertanian dan perkebunan, industri, perkantoran, padang, dan lain-lain dengan luas lahan berturut-turut sebesar 630,418; 137,617; 523,310; 468,401; 22,787; 302,376; dan 6,924 Ha. Ditinjau dari data tersebut, Kota Cimahi didominasi dengan kegiatan yang menghasilkan limbah domestik karena banyaknya pemukiman dan kegiatan usaha ataupun perkantoran (BPS Kota Cimahi, 2020).

Tingkat pelayanan pengelolaan limbah cair domestik di Kota Cimahi mencapai 63,14% dengan sistem *on site* sebesar 61,82% dan sistem *off site* skala komunal sebesar 0,24% (Sistem Sanitasi Kota (SSK) Cimahi, 2015). Terdapat 10 sistem pengelolaan air limbah domestik terpusat skala yang lebih besar dengan jumlah sambungan rumah (SR) berkisar 160-401 SR dan 383-1017 pelayanan perorangan di Kota Cimahi. Sistem tersebut dikelola oleh Unit Pelaksana Teknis Pengolahan Air Limbah (UPTD PAL) Dinas Perumahan dan Kawasan Permukiman (DPKP) Kota Cimahi (Dirgawati, 2021). Kondisi ini menunjukkan sistem pengelolaan limbah cair domestik di Kota Cimahi masih belum maksimal, karena sistem *off site* Kawasannya masih terbatas. Agar target RAD-GRK di Kota Cimahi dapat terpenuhi, maka pengelolaan limbah cair domestik perlu ditingkatkan secara komunal.

Ditinjau berdasarkan IPCC *Guidelines* 2006, perhitungan emisi GRK dari limbah cair domestik hanya memperhitungkan CH₄ dan N₂O. CH₄ merupakan senyawa organik yang memiliki waktu tinggal 8-10 tahun dengan peringkat ke-5 terbesar konsentrasinya di atmosfer (Pawitan, 1989). CH₄ berperan penting dalam reaksi kimia ozon di stratosfer karena sebagai perosot atom klorin (Susanti dkk., 2017). Konsentrasi CH₄ di atmosfer 21 kali lipat lebih besar dibandingkan 200 tahun lalu dengan persentase 20% CH₄ terbentuk akibat dari kegiatan antropogenik. Gas metana memiliki *Global Warming Potential* (GWP) 75 kali lebih besar dibandingkan CO₂ (Shindell, 2009). Kegiatan antropologi menyumbang 60% emisi CH₄ di atmosfer (Hauwelling et al., 2006). Menurut Polprasert (1989), kandungan CH₄ yang dihasilkan oleh *septic*

tank adalah 55%-65%, dan kandungan gas CO₂ adalah 35%-45%.

Perhitungan emisi CH₄ perlu dilakukan untuk mengetahui seberapa besar potensi dalam upaya mitigasi di Indonesia. Hal ini dilakukan untuk mencapai *Sustainable Development Goals* (SDG's) dalam target penurunan emisi GRK sebagai salah satu kerangka ekonomi makro dan pengendalian iklim di bawah 2°C.

Perhitungan emisi CH₄ menggunakan jumlah populasi penduduk suatu wilayah, sedangkan faktor emisi yang digunakan untuk mendapatkan emisi CH₄ yaitu nilai BOD per kapita pada suatu negara. Indonesia termasuk ke dalam negara dengan estimasi nilai BOD5 menggunakan angka *default* dalam satuan gram per orang per hari, sehingga didapatkan nilai produksi CH₄ dalam satuan per kilogram BOD per kapita (IPCC, 2006).

Pada kondisi anaerob, biogas berupa CH₄ terbentuk dari dekomposisi bahan-bahan organik hasil produksi limbah cair domestik melalui proses biokimia (El-Mashad & Zhang, 2009). Biogas merupakan campuran gas yang komposisinya terdiri dari 50-75% gas metana (CH₄), 25%-45% gas karbondioksida (CO₂) dan sejumlah kecil gas lainnya (Al Seadi dkk, 2008). Biogas dari CH₄ tersebut dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik.

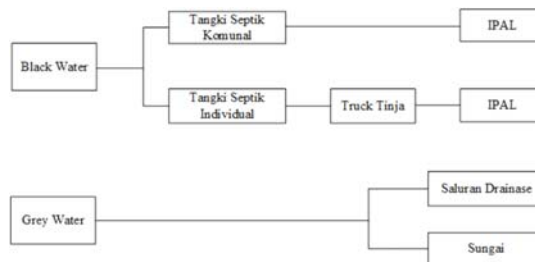
METODE PENELITIAN

Metode dan perhitungan emisi GRK menggunakan Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional Buku II Volume IV dan IPCC 2006. IPCC adalah metode yang digunakan oleh seluruh negara yang meratifikasi *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC) (Wibowo, 2013).

Tahapan serta data yang digunakan untuk mengetahui potensi emisi Gas Rumah Kaca (GRK) dari limbah cair domestik di Kota Cimahi meliputi: (1) identifikasi kondisi pengelolaan limbah cair domestik di Kota Cimahi; (2) menghitung timbulan limbah cair domestik dengan data dari Dinas Lingkungan Hidup sedangkan kebutuhan air bersih ditentukan dari keputusan Direktorat Jendral

Cipta Karya Tahun 2000 sehingga diperoleh kuantitas air limbah domestik di Kota Cimahi; (3) menghitung beban emisi gas rumah kaca (gas metana) dari sektor limbah cair.

Skema pengelolaan air limbah domestik di Kota Cimahi disajikan pada **Gambar-1**. Gambaran kondisi pengelolaan limbah domestik akan menjadi dasar perhitungan potensi CH₄ di Kota Cimahi pada sektor ini.



Gambar -1: Bagan Pengelolaan Air Limbah Domestik di Kota Cimahi
(Sumber : Pokja Sanitasi Kota Cimahi, 2015)

Tahapan yang digunakan dalam perhitungan emisi CH₄ di Kota Cimahi, meliputi:

Tahap 1 – Penentuan total kandungan organik (TOW) limbah cair domestik

Persamaan yang digunakan:

$$TOW = P \times BOD \times 0,001 \times I \times 365 \dots (1)$$

Keterangan:

- TOW = Jumlah organik dalam air limbah pada tahun inventarisasi, kg BOD/ tahun populasi
- P = Jumlah populasi negara dalam tahun inventarisasi (jiwa)
- BOD = BOD per kapita pada suatu negara g/o/h (Asia : 40 g/o/h)
- 0,001 = gr BOD ke kg BOD
- I = Faktor koreksi penambahan BOD yang dibuang ke saluran pembuangan (jika terkumpul *default*-nya 1,25 dan untuk yang tidak terkumpul *default*-nya 1,00)

Tahap 2 – Menghitung faktor emisi CH₄

Persamaan yang digunakan :

$$EF_j = B_0 \times MCF_j \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan:

- EF_j = Faktor emisi, kg CH₄/kg BOD
- J = Setiap jenis pengolahan limbah
- B₀ = Kapasitas produksi maksimal CH₄, kg CH₄/kg BOD
- MCF_j = Faktor koreksi metana

Tahap 3 – Menghitung estimasi emisi CH₄

Persamaan yang digunakan:

$$CH_4 \text{ Emisi} = \left[\sum_{i,j} U_i \cdot T_{ij} \cdot EF_j \right] (TOW - S) - R \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan:

Emisi CH₄ = Emisi CH₄ dalam setahun, kg CH₄/tahun

I = Kelompok pendapatan penduduk

j = Setiap jenis pengolahan limbah

U_i = Fraksi populasi dalam grup *income* i dalam tahun inventarisasi

T_{ij} = Derajat utilisasi sistem pengolahan limbah, j, setiap jenis limbah yang masuk I dalam setahun

EF_j = Faktor emisi, kg CH₄/kg BOD

TOW = Total beban organik dalam setahun, kg BOD/tahun

S = Komponen organik yang terbuang sebagai *sludge* dalam setahun, Kg BOD/tahun

R = Jumlah CH₄ yang di-*recovery* dalam setahun, kg CH₄/tahun

Penggunaan air limbah domestik sebagai sumber energi dapat dilakukan melalui konversi anaerobik komponen organik dalam air limbah menjadi gas metana (CH₄) yang berguna untuk biofuel. Energi listrik dapat diperhitungkan dengan langkah-langkah sebagai berikut.

1. Menghitung pemanfaatan emisi CH₄ berdasarkan presentase penurunan emisi CH₄ limbah cair domestik sesuai target RAD-GRK.
2. Menghitung energi listrik genset berdasarkan hasil pemanfaatan emisi CH₄.
3. Menghitung jumlah genset berdasarkan kapasitas genset yang digunakan.
4. Menghitung nilai ekonomis dari energi listrik hasil pemanfaatan CH₄.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dinas Perumahan dan Kawasan Pemukiman mencatat, bahwa pengolahan limbah cair domestik di Kota Cimahi pada tahun 2020 terbagi atas pengolahan secara *on site* menggunakan *septic tank* individual dan mandi cuci kakus (MCK), sedangkan secara *off site* menggunakan pengolahan secara komunal. Selain air limbah yang terolah secara setempat dan terpusat, data pada SSK Kota Cimahi 2015 menunjukkan bahwa terdapat air limbah berupa

grey water yang dikubur dalam tanah, dibuang ke saluran drainase dan sungai. Berdasarkan data tersebut, maka faktor emisi yang digunakan sesuai jenis pengolahan limbah cair domestik di Kota Cimahi disajikan pada **Tabel -1**.

Tabel -1 Estimasi Faktor Emisi CH₄ untuk Air Limbah Domestik di Kota Cimahi

Jenis pengolahan dan pengumpulan	A	B	C
	Kapasitas produksi metana maksimum (B ₀) (kg CH ₄ /kgBOD)	Faktor koreksi metana untuk setiap sistem pengolahan (MCF _j)	Faktor emisi (EF _j) (kg CH ₄ /kg BOD)
Untreated System			
<i>Sea, river and lake discharge</i>	0,6	0,1	0,06
<i>Flowing sewer (open or closed)</i>	0,6	0	0
Treated System			
<i>Septic system</i>	0,6	0,5	0,3
<i>Latrine (dry climate, ground water table lower than latrine, small family 3-5 persons)</i>	0,6	0,1	0,06

Sumber : IPCC, 2006

Perhitungan air limbah domestik di Kota Cimahi memerlukan data berupa jumlah penduduk, tingkat pelayanan dan estimasi air limbah domestik. Jumlah penduduk Kota Cimahi pada tahun 2020 sejumlah 614.304 jiwa dan tingkat pelayanan keseluruhan Kota Cimahi sebesar 63,14% berdasarkan data SSK Kota Cimahi tahun 2015, sedangkan estimasi air limbah domestik dihitung berdasarkan klasifikasi kota. Mengacu pada Peraturan Pemerintah Nomor 26 Tahun 2008 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Nasional termasuk dalam klasifikasi kota besar dengan kriteria jumlah penduduk sebanyak 500.000-1.000.000 jiwa, sehingga asumsi konsumsi air minum domestik yang digunakan (Pekerjaan Umum (PU) Cipta Karya, 2000):

- Sambungan Rumah (SR) = 80%;

- Hidran Umum (HU) = 20%; dan
- Kebutuhan SR = 170 l/o/h

Setelah dilakukan perhitungan kebutuhan air minum domestik di Kota Cimahi tahun 2020, diperoleh kebutuhan rata-rata air minum domestik sebesar 55.077.759,48 l/hari. Berdasarkan Astika dkk. (2017), 60-80% air minum domestik akan menjadi air limbah, digunakan asumsi 80% konsumsi air minum menjadi air limbah domestik sehingga diperoleh total air limbah sebesar 44.062.207,58 l/detik.

Perhitungan emisi CH₄ dihitung dengan beberapa data dan asumsi perhitungan sesuai dengan karakteristik Kota Cimahi sebagai berikut.

- Jumlah penduduk Tahun 2020 yaitu 614.304 jiwa
- Standar kebutuhan air bersih kota besar adalah 170 liter/kap/hari (PU Cipta Karya, 2000)
- Estimasi kapasitas air limbah perkotaan adalah 71,727 liter/kap/hari
- Qal (debit air limbah) di Kota Cimahi = 71,727 liter/kap/hari × 614.304 Jiwa × 10⁻³ m³/liter = 44.062,183 m³/hari

Sistem pengelolaan limbah cair domestik Kota Cimahi (Dinas Perumahan dan Kawasan Pemukiman Kota Cimahi, 2020):

- Septic tank individual = 112.774 KK
- MCK = 2.450 KK
- Komunal = 12.078 KK

Berdasarkan data diatas, perhitungan emisi CH₄ didasarkan pada jumlah penduduk yang terlayani sesuai dengan sistem pengolahan limbah cair domestik. Sistem yang digunakan di Kota Cimahi meliputi *septic tank*, *latrine* dan tanpa proses pengolahan atau langsung disalurkan menuju badan air penerima. Derajat utilitas Kota Cimahi ditentukan berdasarkan data dari BPS Kota Cimahi Tahun 2019 yang mencatat bahwa persentase penduduk miskin menunjukkan angka yang relatif rendah yaitu 4,39% dari total penduduk Kota Cimahi, sehingga diasumsikan bahwa Kota Cimahi tergolong ke dalam *urban high income*.

Keterbatasan data mengenai fasilitas pembuangan tinja tidak diketahui. Namun dapat

dihitung berdasarkan produksi lumpur. *Black water* adalah sumber penghasil lumpur dalam air limbah karena terdapat campuran tinja dan urin yang mengandung nitrogen, fosfor, potasium, karbon, dan kalsium. Senyawa dalam feses adalah C₁₀₀₀H₃₃₁₀O₈₆₀N₁₅₁₀S, dan senyawa dalam urin adalah C₁₀₀₀H₃₃₁₀N₁₅₁₀S₂ (Liu et al., 2008). Emisi karbon dioksida (CO₂) dan metana (CH₄) di tangki septik dihitung dari berat kering tinja dan urin, sehingga perhitungan produksi lumpur dapat dilakukan dengan menggunakan data kuantitas dari tinja dan urin yang disajikan pada **Tabel -2**.

Tabel -2 Kuantitas Feses dan Urin

Keterangan	Berat Basah	Berat Kering
	gr/orang/hari	
Tinja (<i>feces</i>)	135-270	35-70
Air Seni (<i>urine</i>)	1.000-1.300	50-70
Jumlah	1.135-1.570	85-140

Sumber : Soeparman, 2002

Perhitungan produksi lumpur digunakan untuk menghitung nilai (S) dari komponen organik yang terbuang sebagai lumpur dalam satu tahun. Berdasarkan **Tabel -2**, asumsi berat kering tinja dan urin untuk perhitungan produksi lumpur di kota besar yaitu 140 gr/orang/hari ≈ 0,14 kg/orang/hari. Maka, nilai S dapat dihitung sebagai berikut.

$$S = 0.14 \text{ kg/orang/hari} \times 614.304 \text{ jiwa} = 86.002,56 \text{ kg.BOD/tahun}$$

Setelah diketahui sistem pengolahan limbah cair domestik, tingkat ekonomi dan nilai komponen organik (S) untuk Kota Cimahi. Perhitungan emisi CH₄ dari *septic tank*, *latrine* dan yang tidak melalui proses pengolahan dapat dihitung seperti di bawah ini.

Septic system

$$TOW = 614.304 \text{ jiwa} \times 40 \text{ kg BOD/kap.tahun} \times 0,001 \times 1,25 \times 365 = 11.211.048 \text{ kg BOD/tahun}$$

$$EF_j = 0,6 \text{ kg CH}_4/\text{kg BOD} \times 0,5$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,3 \text{ kg CH}_4/\text{kg BOD} \\
 \text{Emisi CH}_4 &= ((0,12 \times 0,18 \times 0,3 \text{ kg CH}_4/\text{kg} \\
 &\text{BOD} \times (11.211.048 \text{ kg BOD}/ \\
 &\text{tahun} - 86.002,56 \text{ kg.BOD/hari})) \\
 &- 0 \\
 &= 72.090,294 \text{ kg/tahun} \\
 &\approx 0,0721 \text{ Gg CH}_4/\text{tahun}
 \end{aligned}$$

Latrine (dry climate, ground water table lower than latrine, small family 3-5 persons)

$$\begin{aligned}
 \text{TOW} &= 614.304 \text{ jiwa} \times 40 \text{ kg BOD}/ \\
 &\text{kap.tahun} \times 0,001 \times 1,25 \times 365 \\
 &= 11.211.048 \text{ kg BOD/tahun} \\
 \text{EF}_j &= 0,6 \text{ kg CH}_4/\text{kg BOD} \times 0,1 \\
 &= 0,06 \text{ kg CH}_4/\text{kg BOD} \\
 \text{Emisi CH}_4 &= ((0,12 \times 0,08 \times 0,06 \text{ kg CH}_4/\text{kg} \\
 &\text{BOD}) \times (11.211.048 \text{ kg BOD}/ \\
 &\text{tahun} - 86.002,56 \text{ kg.BOD/hari})) \\
 &- 0 \\
 &= 6.408,026 \text{ kg/tahun} \\
 &\approx 0,00641 \text{ Gg CH}_4/\text{tahun}
 \end{aligned}$$

Sewer

$$\begin{aligned}
 \text{TOW} &= 614.304 \text{ jiwa} \times 40 \text{ kg} \\
 &\text{BOD/kap.tahun} \times 0,001 \times 1 \times 365 \\
 &= 8.968.838,4 \text{ kg BOD/tahun} \\
 \text{EF}_j &= 0,6 \text{ kg CH}_4/\text{kg BOD} \times 0 \\
 &= 0 \text{ kg CH}_4/\text{kg BOD} \\
 \text{Emisi CH}_4 &= ((0,12 \times 0,74 \times 0,00 \text{ kg CH}_4/\text{kg} \\
 &\text{BOD}) \times (8.968.838,4 \text{ kg BOD}/ \\
 &\text{tahun} - 86.002,56 \text{ kg.BOD/tahun})) \\
 &- 0 \\
 &= 0 \text{ kg/tahun}
 \end{aligned}$$

None (sea, river and lake discharge)

$$\begin{aligned}
 \text{TOW} &= 614.304 \text{ jiwa} \times 40 \text{ kg} \\
 &\text{BOD/kap.tahun} \times 0,001 \times 1 \times 365 \\
 &= 8.968.838,4 \text{ kg BOD/tahun} \\
 \text{EF}_j &= 0,6 \text{ kg CH}_4/\text{kg BOD} \times 0,1 \\
 &= 0,06 \text{ kg CH}_4/\text{kg BOD} \\
 \text{Emisi CH}_4 &= ((0,12 \times 0,00 \times 0,06 \text{ kg CH}_4/\text{kg} \\
 &\text{BOD}) \times (8.968.838,4 \text{ kg BOD}/ \\
 &\text{tahun} - 86.002,56 \text{ kg.BOD/tahun})) \\
 &- 0 \\
 &= 0 \text{ kg/tahun}
 \end{aligned}$$

Maka,

$$\begin{aligned}
 \text{Emisi CH}_4 \\
 \text{Total} &= (72.090,294 + 6.408,026 + 0 + 0) \\
 &\text{kg/tahun} \\
 &= 78.498,321 \text{ kg/tahun} \\
 &\approx 0,078 \text{ Gg CH}_4/\text{tahun}
 \end{aligned}$$

Emisi CH₄ yang dihasilkan di Kota Cimahi pada tahun 2020 yaitu sebesar 0,078 Gg CH₄/tahun.

Semakin besar jumlah penduduk di suatu kota akan mempengaruhi jumlah air limbah yang dihasilkan dan berpotensi meningkatkan emisi CH₄. Namun, adanya faktor yang dapat mempengaruhi emisi CH₄ yang dipengaruhi oleh tingkat sensitivitas terhadap perubahan kondisi lingkungan pada unit pengolahan air limbah, seperti perubahan suhu, beban organik, TKN komponen air limbah dan faktor lainnya. Beban organik dan TKN dalam influen air limbah sangat erat kaitannya dengan kebiasaan dan pola makan manusia (Nuraeni & Ashuri, 2018). Faktor lain yang dapat mempengaruhi emisi gas rumah kaca tetapi tidak dimasukkan dalam parameter studi yaitu waktu tinggal dan komposisi air limbah di setiap unit pengolahan (Li *et al.*, 2016).

Pengurangan emisi GRK merupakan salah satu kebijakan dalam pengendalian perubahan iklim yang harus diintegrasikan ke dalam program perencanaan pembangunan. Hal ini berguna untuk mencapai SDG's pilar lingkungan dengan tujuan nomor 13 yaitu tentang perubahan iklim. Komponen pengendalian iklim berupa suhu di bawah 2°C dan kerangka ekonomi makro ekonomi.

Upaya pengurangan emisi CH₄ salah satunya dapat dilakukan dengan memanfaatkan emisi yang dihasilkan menjadi energi listrik. Sehingga reduksi gas CH₄ dapat dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Emisi CH}_4 &= 78.498,321 \text{ kg/tahun} \\
 &\approx 42.860,0833 \text{ m}^3/\text{tahun}
 \end{aligned}$$

Diketahui bahwa 1 m³ gas metana menghasilkan 11.17 kWh energi listrik (Bent, 2007). Berikut perhitungan energi listrik yang dapat dihasilkan dari emisi gas metana.

$$\begin{aligned}
 \text{Energi Listrik} &= \text{Pemanfaatan Emisi CH}_4 \times \\
 &\text{Faktor konversi} \\
 &= 42.860,0833 \text{ m}^3/\text{tahun} \times \\
 &11,17 \text{ kWh} \\
 &= 478.747,13 \text{ kWh}
 \end{aligned}$$

Setelah diketahui energi listrik yang dihasilkan, maka diperlukan perhitungan

jumlah genset biogas yang menggunakan kapasitas 2000 kWh bermerek CAT dengan kode CG170-20 digunakan untuk skala rumah dengan efisiensi listrik maksimum sebesar 43,70%. Sehingga jumlah genset dapat dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Jumlah Genset} &= \text{Energi listrik genset :} \\ &\quad \text{Kapasitas genset} \\ &= 478.747,13 \text{ kWh} : 2000 \\ &\quad \text{kWh} \\ &\approx 240 \text{ buah} \end{aligned}$$

Terkait perhitungan nilai ekonomis, tarif listrik di tahun 2020 yang dikeluarkan oleh ESDM yaitu harga listrik per kWh untuk golongan tarif listrik I-4/TT dengan batas daya >2.000 kVA dan biaya pemakaian sebesar Rp1.352/kWh untuk rumah tangga daya 900 VA (R-1/900 VA-RTM). Sehingga nilai ekonomis yang dihasilkan dapat dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Nilai Ekonomis} &= \text{Energi Listrik} \times \text{Biaya} \\ &\quad \text{Pemakaian} \\ &= 478.747,13 \text{ kWh} \times \\ &\quad \text{Rp 1.352/kWh} \\ &= \text{Rp. 647.266.199} \end{aligned}$$

Potensi energi listrik yang dihasilkan dari pemanfaatan gas metana pengelolaan air limbah domestik di Kota Cimahi cukup tinggi, dengan nilai ekonomis yang dihasilkan sebesar Rp. 847.361.902. Pemanfaatan gas metana ini akan meningkat seiring dengan peningkatan limbah cair domestik yang dihasilkan di Kota Cimahi. Oleh karena itu, sebaiknya perlu dilakukan upaya penelitian, pembuatan kebijakan, dan kegiatan yang mengutamakan tidak hanya pengelolaan limbah hingga memenuhi baku mutu tetapi termasuk pemanfaatan limbah domestik menjadi energi sesuai konsep *waste to energy* di dalam pembangunan yang berkelanjutan.

KESIMPULAN

1. Potensi emisi CH₄ yang dihasilkan dari limbah cair domestik di Kota Cimahi sebesar 0,078 Gg CH₄/tahun;
2. Kontribusi sistem pengolahan limbah cair domestik di Kota Cimahi dalam peningkatan GRK meliputi *septic tank* sebesar 0,0721 Gg CH₄/tahun, *latrine* dan sebesar 0,00641 Gg CH₄/tahun;

3. Energi listrik yang dapat dihasilkan dari pemanfaatan emisi gas CH₄ yaitu sebesar 478.747,13 kWh dengan jumlah genset sebanyak 240 buah.
4. Pemanfaatan emisi gas CH₄ sebagai energi listrik berdasarkan segi ekonomisnya, dapat diperoleh biaya sebesar Rp. 647.266.199

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis berharap hasil pengkajian ini dapat bermanfaat sebagai rujukan untuk memanfaatkan potensi emisi CH₄ yang dihasilkan dari limbah cair domestik di Kota Cimahi. Kami berterima kasih kepada Dr. Moh. Rangga Sururi S.T., M.T. sebagai pembimbing dan pihak Jurusan Teknik Lingkungan Institut Teknologi Nasional Bandung yang telah memfasilitasi kami.

DAFTAR PUSTAKA

- Al Seadi, T., Rutz, D., Prassl, H., Köttner, M., Finsterwalder, T., Volk, & Janssen, R. (2008). *Biogas*. University of Southern Denmark Esbjerg.
- Astika, A. U. W., Sudarno, S., & Zaman, B. (2017). Kajian kinerja bak settler, anaerobic baffled reactor (ABR), dan anaerobic filter (AF) pada tiga tipe IPAL di Semarang. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 6(1), 1–15.
- Bent, S. (2007). Renewable Energy Conversation, Transmission and Storage. *International Journal Global Energy* 13(3), 196-276.
- [BPS] Badan Pusat Statistik Kota Cimahi. (2020). *Kota Cimahi dalam Angka Tahun 2020*. BPS Kota Cimahi.
- Dinas Perumahan dan Kawasan Permukiman 2020. (2021). Data Sarana Sanitasi Air Limbah Domestik Tahun 2018. Diakses tanggal 28 Juli 2021. <https://data.cimahikota.go.id/data-detail/327>.
- Dirgawati, M., Sururi, M. R., Wiliana, W. & Widiawati, N. (2021). Evaluation of Regional Domestic Waste Water Treatment Plant Performance in Cimahi City. *Jurnal Presipitasi Media Komunikasi dan Pengembangan*

- Teknik Lingkungan*, 18(1), 141-152.
- Dirjen Cipta Karya. (2000). *Petunjuk Teknis Pengelolaan Sistem Penyediaan Air Minum Perkotaan*. Departemen Pekerjaan Umum, Dirjen Cipta Karya. 9-22.
- Hauweling, S., Röckman, T., Aben, I., Keppler, F., Krol, M., Meirink, J. F., Dlugokencky, E. J., & Frankenberg, C. (2006). Atmospheric Constrains on Global Emissions of Methane from Plants. *Geophysical Research Letters*, 33(15), 1-5.
- IPCC. (2006). *Climate Change, The IPCC Scientific Assessment*. World Meteorological Organization / United Nations Environment Programme Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Li, J., Shi, E., Antwi, P., & Leu, S. Y. (2016). Modeling the Performance of an Anaerobic Baffled Reactor with the Variation of Hydraulic Retention Time. *Bioresource Technology*, 214, 477-486.
- Liu, G., Zhang, R., El-Mashad, H. M., Dong, R. (2009). Bioresource Technology Effect of Feed to Inoculum Ratios on Biogas Yields of Food and Green Wastes. *Bioresource Technology*, 100(21), 5103-5108.
- Liu, H., Yu, C., Manukovsky, N, S., Koval, V. S., Gurevich, Y. L., & Wang, J. (2008). A Conceptual Configuration of The Lunar Base Bioregenerative Life Support System Including Soil-Lake Substrate for Growing Plants. *Advanced Spaces Research*, 42(6), 1080-1088.
- Nuraeni, R., & Ashuri, A. (2018). Nilai Faktor Emisi Spesifik Air Limbah pada Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Komunal. *Widyariset*, 4(1), 37-48.
- Pawitan, H. (1989). *Termodinamika Atmosfer*. Pusat Antar Universitas Ilmu Hayat, IPB Press.
- [Pergub Jawa Barat] Peraturan Gubernur Jawa Barat. (2012). Rencana Aksi Daerah Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca (RAD-GRK) Provinsi Jawa Barat.
- Pokja Sanitasi Kota Cimahi. (2015). *Buku putih sanitasi kota Cimahi*.
- Polprasert. (1989). *Organic Waste Recycling* (2nd ed). Environmental Engineering Div., Asian Institute of Technology.
- Shindell, D. T., Faluvegi, G., Koch, D. M., Schmidt, G.A., Unger, N., & Bauer, S.E. (2009). Improved Attribution of Climate Forcing to Emissions. *Science*, 326(5953), 716-718.
- Soeparman. (2002). *Pembuangan Tinja dan Limbah Cair*. EGC.
- Susanti, I., Slamet, L., & Cahyono, W. E. (2017). Karakteristik Konsentrasi CH₄ (metana) di Beberapa Kota Besar dan Kota Kecil di Indonesia. *Majalah Ilmiah Globe*, 19(2),167.
- Wibowo, A. (2013). Aplikasi IPCC Guideline 2006 untuk Perhitungan Emisi Gas Rumah Kaca Kehutanan di Sumatera Selatan. *Jurnal Analisis Kebijakan Kehutanan*, 10(2), 166 - 186.