NILAI FAKTOR EMISI SPESIFIK AIR LIMBAH PADA INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) KOMUNAL

WASTEWATER SPECIFIC EMISSION FACTOR FROM COMMUNAL WASTEWATER TREATMENT PLANT (WWTP)

Reni Nuraeni^{1,*} dan Amallia Ashuri¹

¹Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Permukiman, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat

Jalan Panyaungan, Cileunyi Wetan, Kabupaten Bandung

*E-mail: reninur@puskim.pu.go.id

ARTICLE INFO

Article history

Received date:

7 February 2018

Received in revised form date:

3 April 2018

Accepted date:

4 April 2018

Available online date:

31 May 2018

Abstract

Greenhouse gasses (GHG) that are produced by anaerobic digestion of wastewater consists of CH_4 gas and NO_2 gas. Besides the data of specific activity, the data of specific emission factor also plays an important part to determinate GHG emission. The research aim is to know the specific emission factor value from communal wastewater treatment plant (WWTP), as an input to determinate GHG emission for calculation of GHG emission reduction rate. The data was collected by taking the sample of BOD, CH_4 gas, and CO_2 gas from communal WWTPs. Sampling location were communal WWTPs in Jakarta City, Bandung City, and Yogyakarta City. Those WWTPs using anaerobic baffle reactor as their treatment system with capacity varied between 40-200 EP. The measured parameters were BOD and CH_4 . The samples were takeusing grab sampling in the morning and evening. The data was analyzed by quantitative methods. The specific emission factor value was determined from CH_4 gas measurement which is affected by wastewater treatment unit dimension, gas catcher chamber, and air suction pump capacity. The analysis results showed specific emission factor for communal WWTPs from the three cities is 0.00171 kg CH_4 /kg BOD. The value has big difference when compared to IPCC's default value that is 0.48 kg CH_4 /kg BOD. This is due to the formation of CH_4 and CO_2 gas that strongly influenced by an environmental condition in real time condition. This factor is not taken into consideration in IPCC's default.

Keywords: Specific factor emission, Greenhouse gasses, Domestic wastewater, Communal WWTP

Kata kunci:

Faktor emisi spesifik
Gas rumah kaca
Air limbah domestik
IPAL komunal

Abstrak

Gas rumah kaca yang ditimbulkan oleh air limbah domestik terdiri atas gas CH_4 dan gas NO_2 . Dalam perhitungan emisi gas rumah kaca, faktor emisi spesifik merupakan faktor yang menentukan selain data aktivitas spesifik. Tujuan dari tulisan ini adalah untuk mengetahui faktor emisi spesifik air limbah dari unit pengolahan air limbah (IPAL) komunal sebagai masukan dalam perhitungan emisi gas rumah kaca untuk pengukuran tingkat pengurangan emisi gas rumah kaca dari air limbah domestik. Pengumpulan data dilakukan dengan mengambil sampel BOD dan gas CH_4 serta CO_2 dari IPAL komunal. Lokasi yang dijadikan sampel adalah IPAL komunal di Kota Jakarta, Kota Bandung, dan Kota Yogyakarta. Jenis pengolahan IPAL sistem *anaerobic baffle reactor* dengan kapasitas bervariasi antara 40-200 KK. Parameter yang diukur BOD dan gas CH_4 dilakukan secara sesaat pada pagi dan sore hari. Analisis data dilakukan dengan metode kuantitatif. Nilai faktor emisi spesifik ditentukan dari pengukuran gas CH_4 yang dipengaruhi oleh ukuran unit pengolahan air limbah, *chamber* penangkap gas, dan debit pompa hisap udara. Hasil analisis menunjukkan nilai faktor emisi spesifik untuk IPAL komunal di tiga kota tersebut adalah 0,00171 kg CH_4 /kg BOD. Nilai ini mempunyai perbedaan yang sangat jauh jika dibandingkan dengan nilai faktor emisi default IPCC, yaitu 0,48 kg CH_4 /kg BOD. Hal ini disebabkan oleh pembentukan gas CH_4 dan CO_2 pada saat pengukuran secara *real time* di lapangan sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan di dalam unit pengolahan yang dalam default IPCC faktor ini tidak diperhitungkan.

©2018Widyariset. All rights reserved

PENDAHULUAN

Sektor limbah (limbah padat dan limbah cair) turut berkontribusi terhadap peningkatan emisi gas rumah kaca ke atmosfer antara 3-4% (IPCC, 2006). Penguraian air limbah secara anaerob menghasilkan CH_4 , CO_2 , dan N_2O . CH_4 juga diemisikan dari *collected untreated wastewater* limbah cair kota yang mencakup air limbah yang terkumpul dan tidak diolah (dibuang ke laut, sungai, danau, *stagnant sewer*/saluran air kotor yang mampat), *treated wastewater* limbah cair kota (anaerobik, digester, *septic-tank*, *laterine*). N_2O berasal dari proses penguraian secara biologi, yang dapat dihasilkan dalam jumlah besar pada saat proses penyisihan nitrogen dalam pengolahan air limbah domestik (Kampschreur, Temmink, Kleerebezem, Jetten, and van Loosdrecht, 2009).

Secara global, sektor air limbah merupakan sumber antropogenik kelima terbesar penghasil metana. Pada tahun 2000, sektor air limbah menyumbangkan 9% dari total emisi metana dunia. Metana yang berasal dari sektor air limbah di India, Cina, Amerika, dan Indonesia menyumbangkan sekitar 49% metana global yang diemisikan dari air limbah. Emisi metana dari sektor air limbah diperkirakan akan meningkat sekitar 20% dari tahun 2005 hingga 2020. Selain itu, sektor air limbah juga merupakan sumber antropogenik keenam terbesar penghasil nitrogen oksida global. Pada tahun 2000, sektor air limbah menyumbangkan 3% dari total emisi nitrogen oksida. Nitrogen oksida yang berasal dari sektor air limbah di India, Cina, Amerika, dan Indonesia menyumbangkan sekitar 50% nitrogen oksida global yang

diemisikan dari air limbah. Emisi nitrogen oksida dari sektor air limbah diperkirakan akan meningkat sekitar 13% dari tahun 2005 hingga 2020 (Gupta and Singh, 2012; US EPA, 2006).

Gambar 1. Emisi gas metana global

Sumber (US EPA, 2006)

Gambar 2. Emisi gas nitrogen oksida global

Sumber (US EPA, 2006)

Setiap jenis pengolahan air limbah dapat mengemisikan gas rumah kaca, baik yang berasal dari proses pengolahan maupun yang berasal dari alat-alat penunjang pengoperasian (Singh & Kansal, 2018). Instalasi pengolahan air limbah (IPAL) mengemisikan gas rumah kaca dalam jumlah yang cukup signifikan dalam bentuk karbon dioksida, metana, dan nitrogen oksida (Chang, Kyung, and Lee, 2014). Penelitian emisi gas rumah kaca dari IPAL *hybrid* yang memiliki proses pengolahan yang sama di tiga lokasi berbeda di Korea, dilakukan dengan mengukur

gas rumah kaca di unit proses anaerobik, anoksik, dan aerobik (Chang, et al., 2014). Dengan menggunakan persamaan modifikasi IPCC, didapatkan total emisi dari karbon dioksida, metana, dan nitrogen dioksida, masing-masing adalah 0,0513-0,0542 g CO₂/m³, 0,5185-0,5402 g CO₂eq/m³, dan 2,7655-3,8525 g CO₂eq/m³. Perbedaan jumlah gas rumah kaca yang diemisikan bergantung dari faktor kapasitas pelayanan IPAL. Semakin besar kapasitas layanan IPAL, semakin besar pula masa kontaminan (BOD) dan nutrient (TN) yang harus disisihkan. Hal ini berarti semakin banyak pula gas rumah kaca yang diemisikan.

Penelitian lain dilakukan terhadap IPAL sistem kombinasi aerobik, anaerobik, dan proses biologis hibrid dengan unit operasi dan proses meliputi koagulasi/flokulasi, *anaerobic digester*, nitrifikasi/denitrifikasi, dan *recovery* biogas. Dari hasil penelitian tersebut diketahui bahwa sistem aerobik, anaerobik, dan proses biologis hibrid masing-masing mengemisikan gas rumah kaca total sebesar 3152, 6052, dan 6541 kg CO₂-eq/hari (Ashrafi, Yerushalmi, and Haghighat, 2014). Emisi gas rumah kaca tersebut tidak hanya berasal dari setiap unit operasi dan proses, tetapi juga termasuk di dalamnya emisi yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar untuk pembangkit listrik. Emisi gas yang dihasilkan dari alat penunjang seperti pembangkit listrik tersebut dapat mencapai dua per tiga dari total emisi yang dihasilkan oleh suatu IPAL (Singh and Kansal, 2018).

Pada tahun 2009, Puslitbang Perumahan telah melakukan kajian potensi gas rumah kaca dari sektor permukiman, salah satunya dari sektor sanitasi. Penelitian dilakukan pada air limbah domestik yang tidak diolah dan yang diolah baik *on site* maupun *off site* dengan lokasi penelitian di Kota Bandung dan Kota Cirebon. Hasil dari penelitian ini adalah air limbah dengan sistem pengolahan *on-site* dan air

limbah yang tidak dikelola di perkotaan memberikan kontribusi emisi CH_4 terbesar dengan kisaran 56-73 Gg/kapita/tahun. Kelompok masyarakat yang berpenghasilan tinggi memberikan kontribusi emisi CH_4 sebesar 15-20 Gg/kapita/tahun, sementara kelompok masyarakat berpenghasilan rendah memberikan kontribusi emisi CH_4 sebesar 27-35 Gg/kapita/tahun (Hastuti and Yudiarti, 2009).

Penelitian lain dilakukan di Kanada (Monteith, Sahely, MacLean, and Bagley, 2005) dengan IPAL yang diamati sebagian besar menggunakan proses aerobik sehingga emisi gas rumah kaca diperkirakan akan didominasi oleh karbon dioksida. Dari hasil pengukuran diketahui bahwa laju emisi di unit pengolahan primer berkisar antara 0,005 kg CO_2 -eq/ m^3 , di unit lumpur aktif konvensional dengan *anaerobic sludge digestion* 0,26 kg CO_2 -eq/ m^3 , 0,8 kg CO_2 -eq/ m^3 di unit *extended aeration*, dan 0,005 kg CO_2 -eq/ m^3 untuk *aerobic digestion*.

Perhitungan emisi gas rumah kaca biasanya dilakukan dengan menggunakan faktor emisi *default* dari IPCC dan USEPA atau disebut dengan metode Tier 1 disebabkan oleh keterbatasan data (IPCC, 2006). Kelemahan dari metode yang paling banyak digunakan ini adalah hasil perhitungan kemungkinan kurang representatif karena tidak sesuai dengan kondisi negara yang bersangkutan. Untuk menghasilkan nilai emisi yang lebih representatif dapat digunakan metode Tier 2 yang menggunakan faktor emisi spesifik dari suatu negara. Namun, nilai faktor emisi spesifik untuk sektor air limbah di Indonesia belum ada. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan diukur besarnya faktor emisi spesifik gas metan (CH_4) untuk air limbah, terutama yang dihasilkan oleh IPAL komunal yang sesuai dengan kondisi di Indonesia. Pengukuran untuk menentukan faktor emisi spesifik dilakukan di tiga kota, yaitu DKI

Jakarta, Kota Bandung, dan Kota Yogyakarta. Dengan diketahuinya nilai faktor emisi spesifik ini diharapkan dapat menghitung emisi gas rumah kaca yang lebih akurat dan lebih jauh dapat digunakan untuk pengukuran tingkat pengurangan emisi gas rumah kaca, khususnya gas metan, dari air limbah domestik.

METODE

Jenis data yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah data primer yang diperoleh melalui pengukuran di lapangan. Data diambil dari IPAL komunal di tiga kota, yaitu DKI Jakarta, Kota Bandung, dan Kota Yogyakarta. Ketiga kota ini dipilih untuk mewakili kota metropolitan dengan pertimbangan jumlah penduduk dan laju pertumbuhan penduduk yang tinggi, sehingga potensi emisi gas rumah kaca juga besar. IPAL komunal yang dijadikan sampel adalah IPAL komunal dengan sistem pengolahan *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) yang umum digunakan di kota-kota di Indonesia.

Parameter utama yang diukur untuk menghitung emisi gas rumah kaca (GRK) pada sektor air limbah adalah gas metan (CH_4) dan BOD. Namun, dalam penelitian ini diukur pula gas karbon oksida (CO_2), untuk mengetahui kemungkinan terbentuknya gas tersebut dalam proses pengolahan air limbah. Gas N_2O juga merupakan parameter dalam pengukuran emisi gas rumah kaca dari sektor air limbah, tetapi karena keterbatasan alat pengukuran (*gas chromatografi*), pengukuran gas N_2O tidak dilakukan (IPCC, 2006).

Pengambilan dan pengawetan contoh air limbah untuk mengukur BOD dilakukan sesuai dengan tata cara yang diterangkan dalam SNI 6989.59:2008 tentang Air dan air limbah-Bagian 59: Metode pengambilan contoh air limbah. Sementara, pengukuran konsentrasi BOD dilakukan di laborato-

rium terakreditasi dengan cara uji mengacu pada SNI 6989.72:2009 tentang Air dan air limbah-Bagian 72: Cara uji Kebutuhan Oksigen Biokimia (*Biochemical Oxygen Demand/BOD*).

Gas CH_4 yang dihasilkan dari unit pengolahan air limbah domestik ditentukan berdasarkan konsentrasi CH_4 yang dianalisis di laboratorium dengan menggunakan *gas chromatography*, ukuran unit pengolahan air limbah dan *chamber* penangkap gas, debit pompa hisap udara,

dan jumlah pengguna unit pengolahan air limbah tersebut.

Sampling dilakukan sesaat, pada dua waktu yang berbeda, yaitu pagi hari pada saat jam puncak dan sore hari. Hal ini dilakukan untuk melihat variasi, apakah terdapat perbedaan konsentrasi BOD dan gas pada kedua waktu tersebut. Sampling dilakukan pada unit anaerobik, dengan asumsi bahwa gas CH_4 dan CO_2 dihasilkan pada proses penguraian secara anaerobik.

Gambar 3. Diagram pengambilan sampel gas

Adapun metode pengambilan sampel sebagai berikut.

- Gas diperangkap melalui *chamber* yang diletakkan di permukaan air limbah (sekitar 1/3 bagian *chamber* masuk ke dalam air limbah).
- Gas ditarik dengan pompa hisap udara.
- Sementara gas ditarik, diukur konsentrasi dengan menggunakan metan detektor, sampai konsentrasi tersebut stabil (kurang lebih selama 2 jam).
- Setelah konsentrasi gas stabil, diambil sampel gas dengan menggunakan alat suntik (*syringe*) kapasitas 60 mL sebanyak empat kali (empat kali).
- Gas pada udara bebas juga diambil, sebagai faktor pengurang.
- Gas kemudian dimasukkan ke dalam *vial* dengan kapasitas 10 mL, yang dibilas terlebih dahulu dengan gas yang diambil pada butir d.
- Sampel gas kemudian diukur konsentrasinya di laboratorium dengan menggunakan *gas chromatography*.

Faktor emisi dihitung sebagai berikut.

- Konsentrasi gas pada masing-masing titik sampling (mg/L)

$$C \text{ (mg/L)} = \text{rata-rata } (C_1, C_2, C_3) - C_{ub} \quad (1)$$

dengan keterangan:

C_1, C_2, C_3 = konsentrasi gas pada sampling (triplo)

C_{ub} = konsentrasi gas yang diambil dari udara bebas

- Konsentrasi gas pada masing-masing titik sampling (10^{-3} mol/*chamber*/hari)

$$C_{\text{mmol}/\text{chamber}/\text{hari}} = C \times 10^{-3} \times (P \times V) / (R \times T) \quad (2)$$

dengan keterangan:

P = tekanan (1 atm)

V = volume laju udara (L/*chamber*/hari)

R = 0,08206 (L.atm/K.mol)

T = 273 + t (K)

- Konsentrasi gas pada masing-masing titik sampling (mg/*chamber*/hari)

$$CH_4 = C_{\text{mmol}/\text{chamber}/\text{hari}} \times 16 \quad (3)$$

$$CO_2 = C_{\text{mmol}/\text{chamber}/\text{hari}} \times 44 \quad (4)$$

- Konsentrasi gas pada masing-masing titik sampling (mg/m²/hari)

$$C_{\text{mg}/\text{m}^2/\text{hari}} = C_{\text{mg}/\text{chamber}/\text{hari}} \times A \quad (5)$$

dengan keterangan:

A = luas permukaan *chamber*

- Emisi dari masing-masing unit pengolahan (mg/unit/hari)

$$C_{\text{mg}/\text{unit}/\text{hari}} = C_{\text{mg}/\text{m}^2/\text{hari}} \times \text{luas unit pengolahan} \quad (6)$$

- Emisi dari masing-masing debit (mg/m³)

$$C_{\text{mg}/\text{m}^3} = C_{\text{mg}/\text{unit}/\text{hari}} / \text{debit (m}^3/\text{hari)} \quad (7)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini, faktor emisi spesifik dihitung berdasarkan pengukuran gas CH₄ dan CO₂ secara *real time* di lapangan. Pengambilan sampel gas dilakukan pada setiap jenis pengolahan limbah yang dijadikan sampel, yang diukur di laboratorium oleh alat *gas chromatography*. Hasil perhitungan faktor emisi spesifik untuk IPAL komunal pada masing-masing kota dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil perhitungan faktor emisi (FE) spesifik

No.	Lokasi	FE (kg CH ₄ / kg BOD)	FE Default IPCC (kg CH ₄ / kg BOD _{inlet})	FE CH ₄ Perhitungan Stoikiometri (kg CH ₄ / kg BOD)	FE (kg CO ₂ / kg BOD)
Kota Yogyakarta					
1.	IPAL Komunal Karangwaru (pagi)	0,019403	0,48	0,35	0,07205
2.	IPAL Komunal Karangwaru (sore)	0,412337			0,08659
3.	IPAL Komunal Cokrodiningratan (pagi)	0,002418			0,00365
4.	IPAL Komunal Cokrodiningratan (sore)	0,000929			-0,03365
5.	IPAL Komunal Kricak Lor (pagi)	0,002414			0,01704
6.	IPAL Komunal Kricak Lor (sore)	0,003264			0,03458
DKI Jakarta					
1	IPAL Komunal Lenteng Agung KSM 1 (pagi)	0,017027			0,02018
2	IPAL Komunal Lenteng Agung KSM 1 (sore)	0,016632			0,01759
3	IPAL Komunal Lenteng Agung KSM 3 (pagi)	0,009182			0,02321
4	IPAL Komunal Lenteng Agung KSM 3 (sore)	0,007454			-0,10554
Kota Bandung					
1	IPAL Komunal Sarijadi (pagi)	0,000154			-0,00091
2	IPAL Komunal Sarijadi (sore)	0,000072			0,00081

Sumber (Hasil analisa, 2015)

Faktor emisi spesifik hasil pengukuran pada IPAL komunal di tiga kota berkisar antara 0,000072-0,412 kg CH₄/kg BOD dengan rata-rata 0,00171 kg CH₄/kg BOD. Nilai ini lebih kecil daripada nilai faktor emisi *default* IPCC (0,48 kg CH₄/kg BOD) dan hasil perhitungan stoikiometri (0,35 kg CH₄/kg BOD). Perhitungan faktor emisi *default* IPCC dan berdasarkan rumus kimia (stoikiometri) tidak mempertimbangkan kondisi lingkungan pada unit pengolahan air limbah. Sementara, perhitungan faktor emisi berdasarkan pengukuran gas CH₄ dan CO₂ *real time* di lapangan sangat terpengaruh 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, TKN komposisi air limbah, dan faktor lainnya. Beban organik dan TKN yang terkandung dalam influen air limbah sangat berkaitan erat dengan adat kebiasaan dan pola makan manusia (Daelman, Van Voorthuizen, Van Dongen, Volcke, and Van Loosdrecht, 2013; Leverenz, Tchobanoglous, and Darby, 2011; Yan, Li, and Liu, 2014).

Hasil pengukuran menunjukkan rata-rata temperatur secara keseluruhan adalah 27,32°C dengan rata-rata emisi gas CH₄ adalah 270,53 ppm dan CO₂ adalah 98,81 ppm dimana standar deviasi untuk masing-masing gas adalah 363,68 ppm dan 135,23 ppm. Pengukuran secara keseluruhan menunjukkan terjadi kecenderungan peningkatan emisi gas rumah kaca baik untuk gas CH₄ ataupun CO₂ (Gambar 4 dan Gambar 5). Namun, bila dilihat dari nilai rata-ratanya nilai konsentrasi emisi gas CH₄ dan CO₂ pada pagi hari lebih tinggi dibandingkan dengan sore hari. Rata-rata konsentrasi gas CH₄ menunjukkan bahwa nilai 299,41 ppm di pagi hari, lebih tinggi dibandingkan dengan rata-rata konsentrasi di sore hari sebesar 206,57 ppm. Hal ini

dapat disebabkan oleh debit air limbah yang dihasilkan pada malam hari lebih kecil dibandingkan debit limbah pada siang hari sehingga waktu tinggal dalam unit proses lebih panjang dan menyebabkan proses anaerobik menghasilkan gas CH₄ lebih banyak. Begitu pula dengan rata-rata konsentrasi CO₂ pagi hari (104,09 ppm) lebih besar dibandingkan dengan sore hari (93,34 ppm). Hal ini dapat disebabkan oleh adanya peningkatan konsentrasi CO₂ ambien akibat peningkatan aktivitas manusia di sekitar lokasi pengukuran sehingga faktor pengurang gas CO₂ di sore hari lebih tinggi jika dibandingkan dengan pagi hari.

Rata-rata temperatur pada pengukuran di pagi hari adalah 26,31°C dengan standar deviasi 0,97°C sedangkan rata-rata temperatur pada sore hari adalah 27,32°C dengan standar deviasi 2,15°C. Hal ini menunjukkan bahwa temperatur sore hari lebih bervariasi dibandingkan dengan pagi hari. Walaupun demikian, variasi konsentrasi dari gas rumah kaca yang diemisikan pada pagi dan sore hari tidak jauh berbeda yang ditandai dari nilai standar deviasi yang tidak jauh berbeda, yaitu 359,34 ppm di pagi hari dan 378,52 ppm di sore hari. Hal ini dikarenakan proses penguraian secara anorganik pada lokasi penelitian terjadi pada kondisi mesofilik, yakni pada kondisi temperatur antara 30-40°C. Pada umumnya, proses ini beroperasi secara optimum pada temperatur 35°C (Yenigün and Demirel, 2013). Walaupun terdapat korelasi antara temperatur dengan emisi gas CH₄, tetapi tidak terjadi korelasi yang signifikan antara kedua parameter tersebut (Daelman, et al., 2013).

Hasil pengukuran juga menunjukkan bahwa terjadi konsentrasi CH₄ dan CO₂ yang bernilai negatif. Hal ini disebabkan oleh konsentrasi gas terukur di udara lebih besar daripada konsentrasi gas yang terukur dalam unit pengolahan, sehingga nilainya menjadi negatif, karena konsentrasi gas

yang terukur di udara merupakan faktor pengurang bagi gas terukur dalam unit pengolahan.

Gambar 4. Kondisi temperatur pada saat pengukuran gas CH_4

Sumber (Hasil analisa, 2015)

Gambar 5. Kondisi temperatur pada saat pengukuran gas CO_2

Sumber (Hasil analisa, 2015)

Hasil pengukuran (Gambar 6 dan Gambar 7) menunjukkan bahwa terdapat kecenderungan peningkatan emisi gas CH_4 dan CO_2 saat terjadi peningkatan konsentrasi BOD dalam air limbah.

Rata-rata konsentrasi BOD pada pagi hari sebesar 320,47 mg/L lebih besar jika dibandingkan dengan konsentrasi BOD pada sore hari 229,02 mg/L dengan nilai standar deviasi untuk masing-masing waktu

adalah 141,7 mg/L dan 111,78 mg/L. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh aktivitas pada pagi hari menghasilkan air limbah dengan kandungan organik yang lebih tinggi dibandingkan dengan sore hari, misalnya aktivitas kakus dan masak pada pagi hari lebih besar dibandingkan dengan sore hari.

Konsentrasi BOD tertinggi terdapat pada IPAL komunal Lenteng Agung KSM 1 dengan rata-rata konsentrasi BOD sebesar 407,17 mg/L yang juga menghasilkan rata-rata konsentrasi emisi gas CH_4 dan gas CO_2 tertinggi masing-masing sebesar 712,72 ppm dan 290,08 ppm. Sementara, IPAL komunal Cokrodingratan yang mengolah air limbah dengan konsentrasi BOD terendah sebesar 83,76 mg/L menghasilkan rata-rata konsentrasi emisi CH_4 dan CO_2 terendah yaitu masing-masing sebesar 15,16 ppm dan -80,55 ppm. Hal ini terjadi karena sumber gas CO_2 dan CH_4 yang diemisikan berasal dari penguraian kandungan organik dalam limbah oleh mikroorganisme yang direpresentasikan oleh BOD sehingga semakin besar BOD akan menyebabkan emisi gas CO_2 dan CH_4 semakin tinggi pula.

Gambar 6. Konsentrasi BOD pada saat pengukuran gas CH_4

Sumber (Hasil analisa, 2015)

Gambar 7. Konsentrasi BOD pada saat pengukuran gas CO₂

Sumber (Hasil analisa, 2015)

Variasi konsentrasi gas yang terukur dapat terjadi karena masih ada faktor lain dalam kondisi lingkungan dalam unit pengolahan air limbah selain beban organik dan temperatur. Faktor lain yang dapat memengaruhi emisi gas rumah kaca tetapi tidak dimasukkan dalam parameter penelitian antara lain waktu detensi dan komposisi air limbah di masing-masing unit pengolahan tersebut. Waktu detensi dalam unit pengolahan dapat memengaruhi konsentrasi gas yang diemisikan. Waktu optimum yang dibutuhkan untuk menghasilkan gas CH₄ tertinggi dalam unit ABR yang telah stabil adalah 1,3 hari (Li, Shi, Antwi, and Leu, 2016).

Komposisi air limbah lain yang dapat memengaruhi proses pembentukan gas rumah kaca dalam unit pengolahan anaerobik adalah amonia, pH, dan rasio C/N. Amonia merupakan nutrisi esensial untuk pertumbuhan bakteri namun pada konsentrasi tinggi amonia terutama amonia bebas dapat menjadi inhibitor proses pembentukan metan. Amonia dapat berasal dari urin yang masuk ke dalam unit pengolahan. Variasi rasio C/N dapat mempengaruhi nilai pH. Peningkatan kandungan karbon dapat meningkatkan konsentrasi emisi gas CO₂ dan menurunkan nilai pH sementara peningkatan kandungan nitro-

gen dapat meningkatkan emisi gas amonia yang menyebabkan pH dan mengganggu aktivitas mikroba (Ahamed, et al., 2015; Dioha, Ikeme, Nafi, Soba, and Mbs, 2013; Rajagopal, Massé, and Singh, 2013; Yenigün and Demirel, 2013).

KESIMPULAN

Faktor emisi spesifik dari IPAL komunal di masing-masing kota yang dijadikan sampel nilainya berbeda-beda, dengan rentang 0,000072-0,412 kg CH₄/kg BOD dan rata-rata 0,00171 kg CH₄/kg BOD. Nilai faktor emisi dari hasil pengukuran *real time* ini lebih kecil daripada nilai faktor emisi *default* IPCC (0,48 kg CH₄/kg BOD) dan hasil perhitungan stoikiometri (0,35 kg CH₄/kg BOD). Hal ini disebabkan oleh pembentukan gas CH₄ dan CO₂ pada saat pengukuran secara *real time* di lapangan sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan dalam unit pengolahan, yang dalam *default* IPCC dan perhitungan stoikiometri faktor ini tidak diperhitungkan. Faktor lingkungan yang ditinjau dalam penelitian ini antara lain konsentrasi BOD dan temperatur yang menunjukkan terjadinya kecenderungan peningkatan emisi gas rumah kaca saat kedua faktor tersebut meningkat. Faktor lain yang diduga memengaruhi variasi emisi gas rumah kaca dan memerlukan penelitian lebih lanjut adalah faktor waktu detensi dan juga ammonia sebagai inhibitor yang banyak berasal dari urin yang masuk ke dalam sistem pengolahan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Puslitbang Perumahan dan Permukiman Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat yang telah membiayai penelitian ini serta Ir. Ida Yudiarti, M.Si atas bimbingan dan arahan pada penyusunan Karya Tulis Ilmiah (KTI) ini.

DAFTAR ACUAN

- Ahamed, A., Chen, C. L., Rajagopal, R., Wu, D., Mao, Y., Ho, I. J. R., ... Wang, J. Y. (2015). "Multi-Phased Anaerobic Baffled Reactor Treating Food Waste". *Bioresource Technology*, 182, 239–244. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.01.117>
- Ashrafi, O., Yerushalmi, L., and Haghghat, F. (2014). "Greenhouse Gas Emission and Energy Consumption in Wastewater Treatment Plants: Impact of Operating Parameters". *Clean - Soil, Air, Water*, 42(3), 207–220. <https://doi.org/10.1002/clen.201200158>
- Chang, J., Kyung, D., and Lee, W. (2014). "Estimation of Greenhouse Gas (Ghg) Emission from Wastewater Treatment Plants and Effect of Biogas Reuse on Ghg Mitigation". *Advances in Environmental Research*, 3(2), 173–183. <https://doi.org/10.12989/aer.2014.3.2.173>
- Daelman, M. R. J., Van Voorthuizen, E. M., Van Dongen, L. G. J. M., Volcke, E. I. P., and Van Loosdrecht, M. C. M. (2013). "Methane and Nitrous Oxide Emissions from Municipal Wastewater Treatment - Results from a Long-Term Study". *Water Science and Technology*, 67(10), 2350–2355. <https://doi.org/10.2166/wst.2013.109>
- Dioha, I. J., Ikeme, C., Nafi, T., Soba, N. I., and Mbs, Y. (2013). "Effect of Carbon to Nitrogen Ratio on Biogas Production". *International Research Journal of Natural Sciences*, 1(3), 1–10.
- Gupta, D., and Singh, S. K. (2012). "Greenhouse Gas Emissions from Wastewater Treatment Plants: a Case Study of Noida". *Journal of Water Sustainability*, 1(2), 131–140. <https://doi.org/10.11912/jws.2.2.131-139>
- Hastuti, E., and Yudiarti, I. (2009). "Greenhouse Gas and Wastewater Treatment Options". In *Climate Change Impacts on Wter Resources and Coastal Management in Developing Countries*. Manado.
- IPCC. (2006). "IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories", Volume 5 : Waste.
- Kampschreur, M. J., Temmink, H., Kleerebezem, R., Jetten, M. S. M., and van Loosdrecht, M. C. M. (2009). "Nitrous Oxide Emission During Wastewater Treatment". *Water Research*, 43(17), 4093–4103. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2009.03.001>
- Leverenz, H. L., Tchobanoglous, G., and Darby, J. L. (2011). "Evaluation of Greenhouse Gas Emissions from Septic Systems". *Water Intelligence Online* (Vol. 10). <https://doi.org/10.2166/9781780403359>
- Li, J., Shi, E., Antwi, P., and Leu, S. Y. (2016). "Modeling the Performance of an Anaerobic Baffled Reactor with the Variation of Hydraulic Retention Time". *Bioresource Technology*, 214, 477–486. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.04.128>
- Monteith, H. D., Sahely, H. R., MacLean, H. L., and Bagley, D. M. (2005). "A Rational Procedure for Estimation of Greenhouse-Gas Emissions from Municipal Wastewater Treatment Plants". *Water Environment Research*, 77(4), 390–403. <https://doi.org/10.2175/106143005X51978>
- Rajagopal, R., Massé, D. I., and Singh, G. (2013). "A Critical Review on Inhibition of Anaerobic Digestion Process by Excess Ammonia". *Bioresource Technology*, 143, 632–641. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.06.030>
- Singh, P., and Kansal, A. (2018). "Energy and Ghg Accounting for Wastewater Infrastructure". *Resources, Conservation and Recycling*, 128, 499–507. <https://doi.org/10.1016/J.RESCON-REC.2016.07.014>
- US EPA. (2006). *Global Anthropogenic Non-CO2 Greenhouse Gas Emissions: 1999-2020*. Washington DC.
- Yan, X., Li, L., and Liu, J. (2014). "Characteristics of Greenhouse Gas Emission in Three Full-Scale Wastewater

Treatment Processes”. *Journal of Environmental Sciences*, 26(2), 256–263. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(13\)60429-5](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(13)60429-5)

Yenigün, O., and Demirel, B. (2013). “Ammonia Inhibition in Anaerobic Digestion: A review”. *Process Biochemistry*, 48(5–6), 901–911. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2013.04.012>