

PREDIKSI EMISI METANA DARI LIMBAH DOMESTIK DAN KONVERSI ENERGI LISTRIK DI SURABAYA UTARA

I Made Satya Graha^{1*)}

¹⁾ Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Mahasaraswati
Denpasar

*Email: imade.satyagraha@gmail.com

ABSTRACT

Predictions for ten years of methane gas emissions in research are conducted on wastewater. To predict the emissions of methane gas ten years first calculated the level of methane gas emissions. Then made predictions to know the emissions of methane gas produced by domestic wastewater for the last ten years. This domestic wastewater from rusunawa. The calculation of methane gas emissions is carried out with reference to the method developed by IPCC 2006. Based on calculations, household wastewater generates methane gas emissions in 2007 of 5648.75 kgCH₄ / year or 8610.91 m³ / year and continues to increase each year. The methane emission prediction result yields the equation $y = 1538x^2 + 5836x + 16610$ to predict methane gas emissions over the next ten years. While the conversion of electrical energy in 2007 amounted to 770.90 kWh and increased every year along with the increase in methane gas emissions. The prediction result of electrical energy yields the equation $y = 137,7x^2 + 522x + 1487$ to predict electric energy ten years ahead.

Keywords : Domestic Wastewater, Emission, Methane Gas, Septik Tank

1. PENDAHULUAN

Panel antarpemerintah tentang Perubahan Iklim (IPCC) menyimpulkan bahwa pemanasan global disebabkan oleh peningkatan gas akibat aktivitas manusia melalui efek rumah kaca (STATE-RUN). Penjelasan IPPC yang diperkuat oleh Jimbo dalam salah satu bukunya menjelaskan bahwa “peningkatan intensitas STATE-RUN ini disebabkan oleh naiknya gas-gas penyebab STATE”, yaitu gas-gas penyebab STATE termasuk uap air (H₂O), karbon dioksida (CO₂), metana (CH₄), NO₂, ozon dan CFCS (gas buatan manusia).

Kajian Survei Risiko Lingkungan dan Kesehatan atau Environmental Health Risk Assessment (EHRA) tahun 2010 sebanyak 92,15% penduduk memiliki septik tank dan 7,85% tidak memiliki septik tank di lokasi. Dari data tersebut diketahui bahwa penduduk Kota Surabaya banyak yang memanfaatkan IPAL sebagai lokasi pengolahan air limbah domestiknya. Peningkatan jumlah penduduk

di Surabaya Utara akibat kegiatan pembuangan limbah dari emisi CH₄ domestik akan meningkat sehingga diperlukan langkah-langkah prediksi untuk jangka waktu 10 tahun. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui prediksi emisi gas CH₄ yang dihasilkan dari komunitasnya di IPAL Surabaya bagian utara.

2. METODOLOGI

2.1 Perhitungan dan Prediksi Emisi Gas Metana

Menurut “Manual Organisasi Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional, buku II, Volume 4 yang merupakan terjemahan dari IPCC. Dalam buku tersebut disebutkan ada tiga langkah untuk menghitung emisi gas metan. Langkah pertama adalah menentukan bahan organik air limbah domestik yang dapat terdegradasi, langkah kedua adalah menentukan faktor emisi CH₄ untuk air limbah domestik dan langkah ketiga menghitung estimasi emisi CH₄ air limbah domestik.

Sector	Waste		
Category	Domestic Wastewater Treatment and Discharge		
Category Code	4D1		
Sheet	2 of 3 Estimation of CH ₄ emission factor for Domestic Wastewater		
STEP 2			
Type of treatment or discharge	A	B	C
	Maximum methane producing capacity (B ₀) (kg CH ₄ /kgBOD)	Methane correction factor for each treatment system (MCF _i)	Emission factor (EF _i) (kg CH ₄ /kg BOD) C = A x B
Untreated System			
Sea, river, lake discharge	0.6	0.1	0.06
Stagnant sewer	0.6	0.5	0.3
Flowing sewer (open/closed)	0.6	0	0
Treated System			
centralized, aerobic treatment plant	0.6	0	0
centralized, aerobic treatment plant (not well managed)	0.6	0.3	0.18
Anaerobic digester for sludge	0.6	0.8	0.48
Anaerobic shallow lagoon	0.6	0.8	0.48
Anaerobic deep lagoon	0.6	0.2	0.12
Septic system	0.6	0.5	0.3
Latrine (dry climate, ground water table lower than latrine, small family 3-5 persons)	0.6	0.1	0.06
Latrine (dry climate, ground water table lower than latrine, communal)	0.6	0.5	0.3
Latrine (wet climate/flush water use, ground water table higher than latrine)	0.6	0.7	0.42
Latrine (regular sediment removal for fertilizer)	0.6	0.1	0.06

Gambar 1. Estimasi Faktor Emisi CH₄ untuk Air Limbah Domestik

Prediksi Emisi Metana Dari Limbah Domestik Dan Konversi Energi Listrik Di Surabaya Utara

Sector	Waste			
Category	Domestic Wastewater Treatment and Discharge			
Category Code	4D1			
Sheet	1 of 3 Estimation of Organically Degradable Material in Domestic Wastewater			
STEP 1				
Region or City	A	B	C	D
	Population	Degradable organic component	Correction factor for industrial BOD discharged in sewers	Organically degradable material in wastewater
	(P) cap	(BOD) (kg BOD/cap.yr) ¹	(I) ²	(TOW) (kg BOD/yr) D = A x B x C
Indonesia	218,868,791	14.6	1	3,195,484,349
Total				3,195,484,349
¹ 1 g BOD/cap.day x 0.001 x 365 = kg BOD/cap.yr ² Correction factor for additional industrial BOD discharged into sewers, (for collected the default is 1.25, for uncollected the default is 1.00).				

Gambar 2. Estimasi Air Limbah Domestik Material yang Terurai Secara Organik

Sector	Waste								
Category	Domestic Wastewater Treatment and Discharge								
Category Code	4D1								
Sheet	3 of 3 Estimation of CH ₄ emissions from Domestic Wastewater								
STEP 3									
Income group	Type of treatment or discharge pathway	A	B	C	D	E	F	G	H
		Fraction of population income group	Degree of utilization	Emission Factor	Organically degradable material in wastewater	Sludge removed	Methane recovered and flared	Net methane emissions	Net methane emissions
		(U) (fraction)	(T) _i (fraction)	(EF) _i (kg CH ₄ /kg BOD)	(TOW) (kg BOD/yr)	(S) (kg BOD/yr)	(R) (kg CH ₄ /yr)	(CH ₄) (kg CH ₄ /yr)	(CH ₄) (Gg CH ₄ /yr)
				Sheet 2 of 3	Sheet 1 of 3			G = [(A x B x C) x (D - E)] - F	
Rural	Septic tank	0.54	0.11	0.30					
	Latrine	0.54	0.20	0.06					
	Other	0.54	0.35	0.06					
	Sewer	0.54	0.00	0.30					
	None	0.54	0.34	0.00					
Urban high income	Septic tank	0.12	0.88	0.30					
	Latrine	0.12	0.03	0.06					
	Other	0.12	0.05	0.06					
	Sewer	0.12	0.04	0.06					
	None	0.12	0.00	0.00					
Urban low income	Septic tank	0.34	0.80	0.30					
	Latrine	0.34	0.10	0.06					
	Other	0.34	0.07	0.06					
	Sewer	0.34	0.01	0.06					
	None	0.34	0.02	0.00					
Total									

Gambar 3. Estimasi Emisi CH₄ dari Air Limbah Domestik

2.2. Perhitungan dan Prediksi Listrik Energi

Perhitungan energi listrik dari gas metana (CH_4) dapat menggunakan persamaan di bawah ini. Dimana 1 Kg gas metan setara dengan $6,13 \times 10^7\text{J}$, sedangkan 1 kWh setara dengan $3,6 \times 10^6\text{J}$. Untuk massa jenis gas metan adalah $0,656 \text{ kg} / \text{m}^3$. Sedangkan 1 m^3 gas metan setara dengan 11,17 kWh.

$$E = V_{gm} \times FK \quad (1)$$

Dimana, E adalah produksi energi listrik (kWh), V_{gm} adalah besarnya volume gas metan (m^3), dan FK adalah Faktor Konversi (kWh / m^3). Dan faktor konversinya adalah $11,17 \text{ kWh} / \text{m}^3$.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Emisi Gas Metana

Penghitungan emisi gas metan dari air limbah domestik rusunawa dilakukan berdasarkan perhitungan emisi gas metan dari kegiatan non domestik yang dihitung berdasarkan populasi yang tidak pasti dari kegiatan non domestik seperti yang telah dilakukan penelitian sebelumnya. Penduduk setara dengan membagi konsumsi air minum per hari dengan penggunaan air minum rusunawa setiap rumah di Surabaya Utara dan per orang per hari. Besarnya konsumsi air minum masing-masing dapat diperoleh dari penggunaan air minum rata-rata rusunawa melalui survei lapangan. Persamaan populasi dan emisi gas metan yang dihasilkan dari air limbah rumah tangga tahun 2007-2016 dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Emisi Gas Metana

Tahun	Emisi Gas Metana (Net)	Emisi Gas Metana (Net)	Emisi Gas Metana (m^3/tahun)
	($\text{kg CH}_4/\text{tahun}$)	($\text{Gg CH}_4/\text{tahun}$)	
2007	5648.75	0.01	8610.91
2008	7580.92	0.01	11556.29
2009	10174.00	0.01	15509.14
2010	13654.03	0.01	20814.08
2011	18325.52	0.02	27935.25
2012	24593.81	0.02	37490.56
2013	33006.18	0.03	50314.29
2014	45515.47	0.05	69383.33
2015	46374.46	0.05	70692.78
2016	81985.79	0.08	124978.34

Perhitungan emisi gas metan dengan menggunakan IPCC dapat dilihat pada Gambar 4 sampai dengan 6. Sedangkan Prediksi emisi gas metan sepuluh tahun dapat dilihat pada Gambar 7.

Prediksi Emisi Metana Dari Limbah Domestik Dan Konversi Energi Listrik Di Surabaya Utara

Sector	Waste			
category	Domestic Wastewater Treatment and Discharge			
category code	4D1			
Sheet	1 of 3 estimation of Organically Degradable Material in Domestic			
STEP 1				
Years	A	B	C	D
	Population (P) cap	Degradable organic component (BOD) (kg BOD/cap.yr)	Correction factor for industrial BOD discharged in sewers (I)	Organically degradable material in wastewater (TOW) (kg BOD/yr) D = A x B x C
2007	2151.60	14.6	1.25	39,267
2008	2887.56	14.6	1.25	52,698
2009	3875.26	14.6	1.25	70,723
2010	5200.80	14.6	1.25	94,915
2011	6980.16	14.6	1.25	127,388
2012	9367.74	14.6	1.25	170,961
2013	12572.00	14.6	1.25	229,439
2014	17336.77	14.6	1.25	316,396
2015	17663.96	14.6	1.25	322,367
2016	31228.26	14.6	1.25	569,916
Total				1,994,070

Catatan: $g \text{ BOD/cap.day} \times 0.001 \times 365 = \text{kg BOD/cap.yr}$
 correction factor for additional industrial Bod discharged into sewers, (for collected the default is 1,25, for uncollected the default is 1,00)

Gambar 4. Estimasi Air Limbah Domestik Material Yang Dapat Terurai Secara Organik

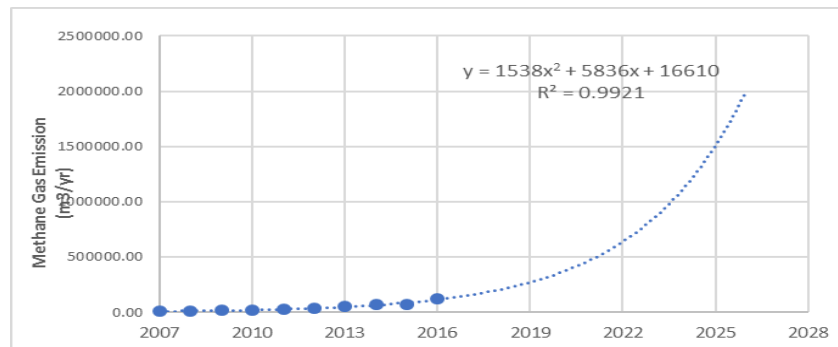
Sector	Waste		
category	Domestic Wastewater Treatment and Discharge		
category code	4D1		
Sheet	2of 3 Estimation of CH4 emission factor for Domestic Wastewater		
STEP 2			
Type of Treatment of discharge	A	B	C
	Maximum methane producing capacity (B_0) (kg CH ₄ /kgBOD)	Methane correction factor for each treatment system (MCF _i)	Emission factor (EF _i) (kg CH ₄ /kg BOD) C = A x B
Untrated System			
sea, river, lake discharge	0.6	0.1	0.06
stagnant sewer	0.6	0.5	0.3
flowing sewer (open/close)	0.6	0	0
Treated System			
centralized aerobic treatment plant	0.6	0	0
centralized aerobic treatment plant (not wellmanaged)	0.6	0.3	0.18
Anaerobic digester for sludge	0.6	0.8	0.48
anaerobic shallow lagoon	0.6	0.8	0.48
Anaerobic deep lagoon	0.6	0.2	0.12
Septic system	0.6	0.5	0.3
Latrine (dry climate, ground water table lower than latrine small family 3-5 persons)	0.6	0.1	0.06
Latrine (dry climate, ground water table lower than latrine, communal)	0.6	0.5	0.3
Latrine (wet climate/ flash water use, ground water table higher than latrine)	0.6	0.7	0.42
Latrine (regular sediment removal for fertizer)	0.6	0.1	0.06

Gambar 5. Estimasi Faktor Emisi CH₄ untuk Air Limbah Domestik

YEARS 2007									
SeCtor	Waste								
Category	Domestic Wastewater Treatment and Discharge								
category Code	4D1								
Sheet	3 of 3 Estimation of CH ₄ emissions from Domestic Wastewater								
STEP 3									
Grup income	Type of treatment or discharge pathway	A	B	C	D	E	F	G	H
		Fraction of population income group (U _i)	Degree of utilization (T _{ij})	Emission Factor (EF _j)	Organically degradable material in wastewater (TOW)	Sludge removed (S)	Methane recovered and flared (R)	Net methane emissions (CH ₄)	Net methane emissions (CH ₄)
		(fraction)	(fraction)	(kg CH ₄ /kg BOD)	(kg BOD/yr)	(kg BOD/yr)	(kg CH ₄ /yr)	(kg CH ₄ /yr)	(Gg CH ₄ /yr)
				Sheet 2 of 3	Sheet 1 of 3			G = [(A × B × C) × (D - E)] - F	
Rural	Septic tank	0.12	0.00	0.30	39,267			-	-
	Latrine	0.12	0.00	0.18	39,267			-	-
	Other	0.12	0.00	0.06	39,267			-	-
	Sewer	0.12	0.00	0.30	39,267			-	-
	None	0.12	0.00	0.00	39,267			-	-
Urban high income	Septic tank	0.34	0.00	0.30	39,267			-	-
	Latrine	0.34	0.00	0.18	39,267			-	-
	Other	0.34	0.00	0.06	39,267			-	-
	Sewer	0.34	0.00	0.30	39,267			-	-
	None	0.34	0.00	0.00	39,267			-	-
Urban low income	Septic tank	0.54	0.86	0.30	39,267			5,471	0.0
	Latrine	0.54	0.00	0.06	39,267			-	-
	Other	0.54	0.14	0.06	39,267			178	0.0
	Sewer	0.54	0.00	0.30	39,267			-	-
	None	0.54	0.00	0.00	39,267			-	-
Total							5,649	0.006	

Gambar 6. Estimasi Emisi CH₄ dari Air Limbah Domestik

Dari tabel yang disajikan pada Gambar 4 yang menggunakan populasi selama sepuluh tahun 14,6 kg komponen organik terdegradasi berdasarkan penelitian sebelumnya. Faktor koreksi untuk industri, dimana jika faktor koreksi masuk ke IPAL domestik maka nilainya 1,25 tetapi jika tidak maka nilainya adalah 1. Dari kondisi riil karena sampah dan domestik tertampung di IPAL rusunawa, maka faktor koreksi adalah 1,25. Gambar 5 menunjukkan faktor emisi gas metan untuk IPAL domestik berasal dari perkalian antara kapasitas produksi maksimum CH₄ (B0) dalam kgCH₄ / kgBOD dengan faktor koreksi gas metan untuk tiap sistem pengolahan (MCF_j). Dimana kapasitas produksi gas metan maksimum (B0) dan faktor koreksi gas metan (CH₄) untuk setiap sistem pengolahan merupakan regulasi dari IPCC. Sedangkan Gambar 6 menunjukkan perhitungan emisi gas metan yang mempengaruhi sejumlah aspek, sehingga emisi gas metan yang akan dihasilkan pada tahun 2007 sebesar 5.649 kgCH₄ / tahun untuk dikonversi ke satuan m³ / tahun, emisi gas metan. Hasilnya dipisahkan dengan massa jenis gas metana. Dimana massa jenisnya 0,006 kg / m³.



Gambar 7. Prediksi Sepuluh Tahun Methane Gas Emisi

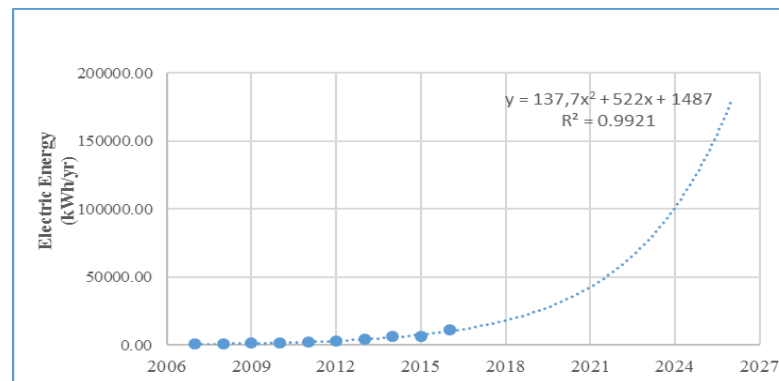
Gambar 7 yang berdasarkan hasil prediksi selama sepuluh tahun ini emisi gas metan akan meningkat setiap tahunnya. Prediksi peningkatan emisi gas metan per tahun dari tahun 2017 hingga 2026 dapat dilihat dengan persamaan $Y = 1538x + 5836x + 16610$. Peningkatan emisi gas metan sejalan dengan pertambahan jumlah penduduk. Semakin bertambahnya jumlah penduduk, maka semakin naik pula emisi gas metan yang dihasilkan. Hasil ini didukung oleh penelitian sebelumnya di Surabaya Selatan. Emisi gas metan menunjukkan peningkatan setiap tahun selama sepuluh tahun.

3.2. Energi listrik

Perhitungan energi listrik yang dihasilkan dari emisi gas metan air limbah domestik menggunakan persamaan $E = V_{gm} \times FK$. Dimana E adalah energi listrik yang dihasilkan (kWh), V_{gm} adalah emisi gas metan yang dihasilkan dan FK adalah faktor konversi gas metan menjadi energi listrik. Dimana 1 m³ gas metan sama dengan 11,17 kWh. Kemudian hasil perhitungan konversi energi listrik di Surabaya Timur dari tahun 2007 sampai dengan 2016 dapat dilihat pada Tabel 2. Prediksi energi listrik yang dihasilkan selama sepuluh tahun terakhir dapat dilihat pada Gambar 8.

Tabel 2. Hasil Konversi Energi Listrik

Tahun	Emisi Gas Metana (m ³ /tahun)	Energi Listrik (kWh/tahun)
2007	8610.91	770.90
2008	11556.29	1034.58
2009	15509.14	1388.46
2010	20814.08	1863.39
2011	27935.25	2500.92
2012	37490.56	3356.36
2013	50314.29	4504.41
2014	69383.33	6211.58
2015	70692.78	6328.81
2016	124978.34	11188.75



Gambar 8. Prediksi Konversi Energi Listrik Sepuluh Tahun

Gambar 8 menunjukkan bahwa berdasarkan hasil prediksi selama sepuluh tahun, potensi energi listrik akan meningkat setiap tahunnya. Prediksi peningkatan potensi energi listrik per tahun dari tahun 2017 hingga 2026 dapat dilihat dengan persamaan $Y = 137,7x^2 + 522x + 1487$. Peningkatan potensi energi listrik seiring dengan pertambahan jumlah penduduk serta emisi gas buang gas metana. Pertambahan penduduk akan semakin meningkat pula emisi gas metana yang dihasilkan oleh potensi energi listrik menunjukkan peningkatan setiap tahunnya selama sepuluh tahun.

4. PENUTUP

Hasil prediksi emisi metana menghasilkan persamaan $y = 1538x^2 + 5836x + 16610$ untuk memprediksi emisi gas metana selama sepuluh tahun ke depan. Sedangkan konversi energi listrik pada tahun 2007 sebesar 770,90 kWh dan meningkat setiap tahun seiring dengan peningkatan emisi gas metana. Hasil prediksi energi listrik menghasilkan persamaan $y = 137,7x^2 + 522x + 1487$ untuk memprediksi energi listrik sepuluh tahun ke depan.

DAFTAR PUSTAKA

- Bent, S. (2007). *Renewable Energy Conversation, Transmission and Storage*, International J Global Energy Issues 13 (3). 196-276.
- IPCC. (1990). *Climate Change, The IPCC Scientific Assessment*. World Meteorological Organization / United Nations Environment Programme Intergovernmental Panel on Climate Change.
- US-EPA. (2010). *Methane and Nitrous Oxide Emissions From Natural Sources*. United States Environmental Protection Agency, Washington DC, USA, EPA 430-R-10-001.