

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN ANALISIS DATA

4.1 Gambaran Umum dan Lokasi Penelitian

4.1.1 Lokasi penelitian

Penelitian dilakukan di Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Sewon. IPAL Sewon terletak di dusun Cepit, Pandowoharjo, Sewon, Bantul. IPAL Sewon dikelola oleh Balai Pengelolaan Infrastruktur Sanitasi dan Air Minum Perkotaan (Balai PISAMP) yang melayani tiga kabupaten di wilayah Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY), Kabupaten Bantul, Kota Yogyakarta dan Kab. Sleman.

4.1.2 IPAL Sewon

IPAL Sewon dibangun mulai 1994-1996, di atas tanah seluas 6,7 hektar, dan langsung dioperasikan pada tahun 1996. Pembangunan IPAL ini diperoleh dari dana hibah dari pemerintah Jepang. IPAL Sewon di fokus untuk mengolah limbah cair domestik seperti, limbah mandi, air cucian, WC dan dapur. Proses pengolahan yang digunakan berupa proses biologis dengan menggunakan sistem kolam aerasi fakultatif.

Manfaat dari pembangunan IPAL Sewon adalah untuk mendukung program kali bersih (PROKASIH) yang dicanangkan oleh pemerintah saat itu. Mengurangi/mencegah adanya pencemaran terhadap air tanah yang bersumber dari limbah cair domestik, menghemat pembuatan pengolahan limbah secara individual. Serta meningkatkan perbaikan limbakunga hidup yang sehat.

Jaringan perpipaan air limbah melayani tiga kecamatan di Kab. Bantul, 13 kecamatan di Kota Yogyakarta dan tiga kecamatan di kab. Sleman. Hingga saat ini IPAL Sewon telah melayani 23481 sambungan rumah per desember 2017 di ketiga wilayah tersebut.

Berikut data standar rancangan air limbah untuk IPAL Sewon yang diperoleh dari PISAMP DIY

Tabel 4.1 Data Standar Rancangan IPAL Sewon

Rencana sambungan	25000 sambungan rumah
Air limbah (rencana)	15500 m ³ /hari (179 liter/detik)
Air limbah (puncak saat ini)	1282 m ³ /jam (356 liter/detik)
Beban BOD	5103 kg/hari (46 gr/org/hari)
BOD aliran masuk	332 mg/liter
BOD aliran keluar	50 mg/liter

(Sumber: Balai PISAMP DIY)

4.2 Inventarisasi Gas Rumah Kaca (GRK)

Metode IPCC 2006 merupakan metode yang secara resmi digunakan di Indonesia, yang telah turun bersama panduan dari KemenLHK. GRK untuk sektor air limbah yang tercantum di pedoman IPCC 2006 adalah metana (CH₄) dan Nitrogen Oksida (N₂O). Berikutnya metode US EPA, merupakan penerapan metode yang digunakan oleh *United State Environmental Protection Agency* (USEPA) untuk melakukan inventarisasi GRK di Amerika Serikat. GRK yang tercantum di dalam metode yang digunakan oleh US EPA untuk sektor air limbah adalah CH₄ dan N₂O.

Dalam penentuan emisi GRK berdasarkan pedoman IPCC, dibagi atas tiga tingkatan berdasarkan tingkat kedetailan data yang digunakan. Hal ini didasari oleh masih banyaknya pihak/instanti/kawasan/negara yang masih belum memiliki data spesifik dengan kondisi areanya masing-masing. Sehingga dalam penentuan emisi untuk data yang tidak memiliki data spesifik terhadap lokasi, umumnya akan menggunakan data *default* yang disediakan oleh IPCC.

4.3 Emisi GRK dengan Metode IPCC 2006

Persamaan umum dalam penentuan emisi GRK berdasarkan pedoman IPCC 2006 sebagai berikut.

$$\text{Emisi} = \text{Data aktivitas} \times \text{Faktor emisi}$$

Data aktivitas merupakan data mengenai kegiatan/aktivitas yang dapat menghasilkan emisi GRK. Faktor emisi merupakan besaran yang

menunjukkan kuantitas emisi per satuan unit dari kegiatan/aktivitas yang menghasilkan emisi GRK.

Metode IPCC dalam penentuan emisi GRK untuk sumber air limbah, hanya mencakup emisi berupa CH₄ dan N₂O. Pedoman IPCC yang diterbitkan tahun 2006 tidak mencakup emisi CO₂ untuk sektor air limbah, karena dianggap sebagai emisi dari sumber biogenik dan tidak seharusnya dimasukkan kedalam jumlah total emisi nasional dari sumber air limbah.

4.3.1 Emisi CH₄

Perhitungan emisi dengan metode IPCC akan mengacu pada tingkatan pertama. Pertimbangan ini didari bahwa selain data jumlah populasi, BOD tahunan, dan persentase degradasi BOD, estimasi emisi masih menggunakan data default yang disediakan oleh Pedoman IPCC.

Emisi CH₄

Rumus yang umum digunakan untuk mengestimasi emisi CH₄ dari sumber air limbah domestik, sebagai berikut:

$$\text{Emisi CH}_4 = [\sum_{i,j} (U_i \times T_{i,j} \times EF_j)] (TOW - S) - R$$

Dimana:

Emisi CH₄, jumlah emisi CH₄ dalam satu tahun inventarisasi dinyatakan dalam kg CH₄ /tahun

TOW merupakan singkatan dari *Total Organic Wastewater*, total organik air limbah dalam jangka waktu satu tahun, dan satuannya dinyatakan dalam kg BOD/tahun. Nilainya ditentukan berdasarkan perhitungan jumlah populasi yang dilayani serta nilai BOD spesifik negara.

S menyatakan jumlah komponen organik yang diambil sebagai lumpur pertahunnya, dinyatakan dalam kg BOD/tahun. Dalam pengelolaan air limbah PISAMP DIY tidak melakukan pengukuran debit lumpur. Selain itu laboratorium PISAMP DIY juga tidak melakukan pengukuran besar BOD

dari lumpur yang dihasilkan. Sehingga dalam estimasi ini diasumsikan tidak ada lumpur yang diambil (nilai = 0).

U_i menyatakan fraksi populasi yang terlayani oleh IPAL berdasarkan tingkat urbanisasi kawasan terlayani. Penentuan faktor ini dilakukan berdasarkan pengamatan dilapangan dengan menggunakan peta pembangunan jaringan pipa air limbah per 22 Oktober 2014. Berdasarkan pengamatan dilapangan dan juga mengingat kawasan yang dilayani mayoritas merupakan area Kota Madya Yogyakarta. Maka dinyatakan kawasan terlayani IPAL merupakan area urban. Selanjutnya dari hasil pengamatan langsung dilapangan diketahui umumnya rumah yang dilewati oleh saluran sekunder dan/atau tersier umumnya merupakan rumah permanen dan dilihat dari jenis dan ukuran bangunannya bisa di perkirakan pemilik rumah termasuk menengah-keatas. Untuk faktor ini kawasan yang terlayani oleh IPAL merupakan kawasan *urban high income*. Data *default* yang disediakan oleh pedoman IPCC yang dikutip pada lampiran 1, nilai faktor *urban high income* untuk Indonesia adalah 0.12

$T_{i,j}$ menyatakan faktor berdasarkan jenis penggunaan pengolahan/saluran pembuangan atau sistem yang digunakan, yang dikaitkan dengan kelompok penghasilan pada tahun inventarisasi. Penentuan faktor ini dilakukan berdasarkan pengamatan dilapangan dengan menggunakan peta pembangunan jaringan pipa air limbah per 22 oktober 2014. Dengan pertimbangan yang sama untuk faktor U_i dinyatakan kawasan yang terlayani oleh IPAL merupakan kawasan *urban high income*. Sistem pengolahan menggunakan pengolahan terpusat dengan penggunaan sistem perpipaan untuk menyalurkan air limbah. Dari data *default* pedoman IPCC untuk kawasan *urban high income* pada lampiran 1 dengan sistem pengolahan air limbah dengan menggunakan sewer faktornya adalah 0.74.

R menyatakan jumlah CH_4 yang ter-*recovery* pada tahun inventarisasi ($kg CH_4/tahun$). Usaha *recovery*/pemulihan yang dimaksud adalah usaha penangkapan gas CH_4 yang dilepaskan pada saat proses pengolahan air limbah. Usaha *recovery* CH_4 umumnya dilakukan pada instalisasi yang

menghasilkan jumlah gas CH₄ yang secara ekonomis layak untuk dimanfaatkan kembali. Sistem pengolahan air limbah di IPAL Sewon memanfaatkan proses natural/konvensional dengan sistem kolam aerobik fakultatif dengan menggunakan kolam terbuka, sehingga tidak bisa dilakukan penangkapan emisi CH₄. Maka untuk nilai R = 0

Faktor emisi untuk IPAL dan sistem penyaluran air limbah merupakan fungsi antara potensi maksimal dari produksi CH₄ (MCF) dengan faktor koreksi metana.

$$EF_j = B_o \times MCF_j$$

Dimana:

EF_j menyatakan faktor emisi (kg CH₄/kg BOD), nilai ini diperoleh melalui perhitungan kapasitas maksimal produksi CH₄ dengan faktor koreksi metana.

B_o menyatakan kapasitas maksimal produksi CH₄ dari jumlah material organik yang terkandung di dalam air limbah, dinyatakan dalam, kg CH₄/kg BOD. Nilai ini menggunakan nilai default yang disediakan oleh IPCC yaitu 0.6 kg CH₄/kg BOD.

MCF_j menunjukkan sejauh mana kapasitas produksi CH₄ terbentuk disetiap jenis pengolahan dan sistem penyalurannya. Pada nilai default di pedoman IPCC hanya mencantumkan nilai MCF untuk pengolahan terpusat dengan pengolahan aerobik dan anaerobik. Hanya saja untuk sistem pengolahan IPAL Sewon menggunakan sistem aerobik fakultatif dan tidak terdapat di panduan IPCC untuk air limbah domestik. Maka dilakukan pertimbangan untuk nilai default ini. Sistem pengolahan air limbah dengan sistem aerobik fakultatif, memiliki kecenderungan lebih besar untuk menghasilkan emisi CH₄ jika dibandingkan dengan sistem aerobik, walau belum sebesar sistem anaerobik. Melihat Tabel 3.3 maka digunakan faktor untuk pengolahan terpusat dengan kondisi tidak terkelola dengan baik dan/atau melebihi kapasitas pengolahan yang memiliki kisaran MCF 0.2-0.4.

Perlu diketahui bahwa sistem pengolahan IPAL Sewon sendiri dalam kondisi terpelihara dan masih belum melewati kapasitas desain IPAL. Dengan pertimbangan tersebut maka digunakan nilai $MCF = 0.2$

$$\begin{aligned}EF_j &= B_o \times MCF_j \\EF_j &= 0.6 \text{ kg CH}_4/\text{kg BOD} \times 0.2 \\&= \mathbf{0.12 \text{ kg CH}_4/\text{kg BOD}}\end{aligned}$$

Data aktivitas pada kategori ini adalah jumlah material yang terdapat pada air limbah yang bisa terdegradasi secara organik (TOW).

$$\mathbf{TOW = P \times BOD \times 0.001 \times I \times 365}$$

TOW merupakan singkatan dari *Total Organic Wastewater* total organik air limbah dalam jangka waktu satu tahun, dan satuannya dinyatakan dalam kg BOD/tahun.

P menyatakan jumlah penduduk yang melakukan pembuangan air limbah, dalam kesempatan ini menyatakan jumlah warga yang dilayani oleh IPAL. Data yang diperoleh dari Balai Pengolahan Infrastruktur Sanitasi dan Air Minum Perkotaan (PISAMP) DIY hanya menunjukkan jumlah sambungan rumah (SR) yang dilayani, sehingga peneliti menggunakan asumsi bahwa setiap sambungan setara dengan lima jiwa.

Data sambungan dari PISAMP DIY pada tahun 2018 sebesar 23481 sehingga jumlah populasi yang dilayani sebesar 117405 jiwa

BOD menyatakan nilai BOD air limbah oleh setiap penduduk perharinya. Data ini berbeda untuk setiap negara dikarenakan perbedaan pola hidup. Berdasarkan data *default* dari pedoman IPCC, jumlah BOD yang dihasilkan penduduk Indonesia per harinya sebesar 40 gr BOD/orang/hari

Konstanta untuk konversi dari gram ke kilogram adalah 0.001

Faktor **I** menyatakan faktor koreksi bila saluran pipa IPAL menerima limbah industri, bila menerima limbah industri maka faktor yang digunakan = 1.25, bila tidak faktornya = 1. Balai PISAMP DIY sebagai pengelola IPAL

Sewon menyatakan bahwa limbah yang masuk ke dalam pengolahan merupakan air limbah domestik. Maka nilai yang digunakan adalah 1

Sehingga perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{TOW} &= P \times \text{BOD} \times 0.001 \times I \times 365 \\ \text{TOW} &= 117405 \text{ jiwa} \times 40 \text{ gr BOD/orang/hari} \times 0.001 \times 1 \times 365 \\ &\text{hari} \\ &= \mathbf{1714113 \text{ kg BOD/tahun}} \end{aligned}$$

Emisi CH₄ yang dihasilkan dalam satu tahun inventori adalah sebagai berikut

$$\begin{aligned} \text{Emisi CH}_4 &= [\sum_{i,j} (U_i \times T_{i,j} \times EF_j)] (\text{TOW} - S) - R \\ \text{Emisi CH}_4 &= [0.12 \times 0.74 \times 0.12 \text{ kg CH}_4/\text{kg BOD}] \times (1714113 \text{ kg} \\ &\text{BOD/tahun} - 0) - 0 \\ &= \mathbf{18265.588 \text{ kg CH}_4/\text{tahun}} \end{aligned}$$

Bila dinyatakan dalam karbon dioksida ekuivalen (CO₂eq), sebagai berikut:

$$\text{CO}_{2e} = \text{GHG}_i \times \text{GWP}_i$$

Dimana:

CO₂eq menyatakan emisi dalam karbon dioksida ekuivalen, Gg CO₂eq/tahun

GHG_i menyatakan jumlah emisi tiap jenis GRK, dari hasil perhitungan emisi sebelumnya.

GWP_i menyatakan nilai GWP yang berdasarkan dokumen IPCC (Tabel 3.1), nilai GWP untuk CH₄ adalah 25.

Perhitungannya sebagai berikut

$$\begin{aligned} \text{CO}_{2e} &= \text{GHG}_i \times \text{GWP}_i \\ \text{CO}_{2e} &= 18265.588 \text{ kg CH}_4/\text{tahun} \times 25 \\ &= \mathbf{456639.7 \text{ kg CO}_{2e}/\text{tahun}} \\ &= \mathbf{0.4566 \text{ Gg CO}_{2e}/\text{tahun}} \end{aligned}$$

4.3.2 Emisi N₂O

Emisi nitrogen oksida (N₂O) dapat timbul sebagai emisi langsung dari IPAL atau dari air limbah setelah effluent memasuki badan air. Sesuai dengan dinyatakan pada sub-bab 3.5.3 mengenai emisi N₂O, dinyatakan bahwa estimasi emisi gas N₂O akan menggunakan metode untuk emisi N₂O dari sumber air limbah secara keseluruhan. Bukan dari sumber emisi yang dihasilkan sebagai bagian dari proses pengolahan air limbah di instalasi. Hal ini dikarenakan proses pengolahan air limbah yang masih tergolong konvensional dan secara sistematisnya tidak jauh beda dengan proses di alam, maka dipilih metode berikut.

$$\text{Emisi N}_2\text{O} = \text{N}_{\text{EFFLUENT}} \times \text{E}_{\text{EFFLUENT}} \times (44/28)$$

Emisi N₂O menyatakan jumlah emisi N₂O pada tahun inventori, dinyatakan dalam kg N₂O/tahun.

N_{EFFLUENT} menyatakan jumlah nitrogen yang terdapat di air limbah dinyatakan dalam kg N/tahun

E_{EFFLUENT} menyatakan faktor emisi N₂O, dinyatakan dalam kg N₂O-N/kg N. Nilai ini menggunakan default dari IPCC yaitu 0.005 N₂O-N/kg N.

44/28 merupakan faktor konversi untuk kg N₂O-N menjadi kg N₂O

Berikut perhitungan kandungan nitrogen pada effluent air limbah.

Berikut rumusnya

$$\text{N}_{\text{EFFLUENT}} = (\text{P} \times \text{Protein} \times \text{F}_{\text{NPR}} \times \text{F}_{\text{NON-CON}} \times \text{F}_{\text{IND-COM}}) - \text{N}_{\text{SLUDGE}}$$

Dimana:

N_{EFFLUENT} menyatakan jumlah nitrogen di effluent air limbah tahunan (kg N/tahun)

P menyatakan jumlah populasi penduduk (jiwa) yang terlayani oleh IPAL, dalam hal ini data populasi berdasarkan jumlah sambungan rumah dengan asumsi setiap sambungan memiliki populasi lima jiwa. Dengan begitu 23481 sambungan rumah setara dengan 117405 jiwa.

Protein menyatakan jumlah konsumsi protein perorang dalam waktu satu tahun (kg/orang/tahun). Jumlah konsumsi protein penduduk Indonesia menurut FAO adalah 56 g/kapita/hari, sehingga dalam waktu satu tahun jumlah konsumsi proteinnya adalah 20.44 kg protein/orang/tahun

F_{NPR} menyatakan fraksi nilai nitrogen di dalam protein, nilai faktor ini telah ditentukan dalam dokumen IPCC yaitu 0.16 kg N/kg protein.

$F_{NON-CON}$ merupakan faktor untuk menyatakan keberadaan protein non-konsumsi yang terdapat di air limbah. Berdasarkan pedoman IPCC 2006, nilai default $F_{NON-CON}$ untuk negara berkembang adalah 1.1

$F_{IND-COM}$ merupakan faktor untuk menyatakan keberadaan protein protein dari sektor industri-komersil yang masuk ke dalam sewer. Bila IPAL menerima limbah industry, maka faktor yang digunakan = 1.25, bila tidak faktornya = 1. Balai PISAMP DIY sebagai pengelola IPAL Sewon menyatakan bahwa limbah yang masuk ke dalam pengolahan merupakan air limbah domestik. Maka nilai yang digunakan adalah 1

N_{SLUDGE} menyatakan jumlah nitrogen yang terdegradasi bersama lumpur (default = 0), (kg N/tahun)

Perhitungannya sebagai berikut:

$$\begin{aligned} N_{EFFLUENT} &= (P \times \text{Protein} \times F_{NPR} \times F_{NON-CON} \times F_{IND-COM}) - N_{SLUDGE} \\ N_{EFFLUENT} &= (117405 \text{ jiwa} \times 20.44 \text{ kg protein/orang/tahun} \times 0.16 \text{ kg} \\ &\quad \text{N/kg protein} \times 1.1 \times 1) - 0 \\ &= \mathbf{422357.4432 \text{ kg N/tahun}} \end{aligned}$$

Maka nilai emisi N_2O adalah

$$\begin{aligned} \text{Emisi } N_2O &= N_{EFFLUENT} \times E_{EFFLUENT} \times (44/28) \\ &= 422357.4432 \text{ kg N/tahun} \times 0.005 \text{ N}_2\text{O-N/kg N} \times (44/28) \\ &= \mathbf{3318.5228 \text{ kg N}_2\text{O/tahun}} \end{aligned}$$

Bila dinyatakan dalam karbon dioksida ekuivalen (CO_2eq), sebagai berikut:

$$CO_{2e} = GHG_i \times GWP_i$$

Dimana:

CO₂eq menyatakan emisi dalam karbon dioksida ekuivalen, Gg CO₂eq/tahun

GHG_i menyatakan jumlah emisi tiap jenis GRK, dari hasil perhitungan emisi sebelumnya.

GWP_i menyatakan nilai potensi pemanasan global yang berdasarkan dokumen IPCC (Tabel 3.1), nilai GWP untuk N₂O adalah 298.

Perhitungannya sebagai berikut

$$CO_{2eq} = GHG_i \times GWP_i$$

$$\begin{aligned} CO_{2eq} &= 3318.5228 \text{ kg N}_2\text{O/tahun} \times 298 \\ &= \mathbf{988919.7849 \text{ kg CO}_{2eq}/\text{tahun}} \\ &= \mathbf{0.9889 \text{ Gg CO}_{2eq}/\text{tahun}} \end{aligned}$$

4.3.3 Total Emisi Metode IPCC 2006

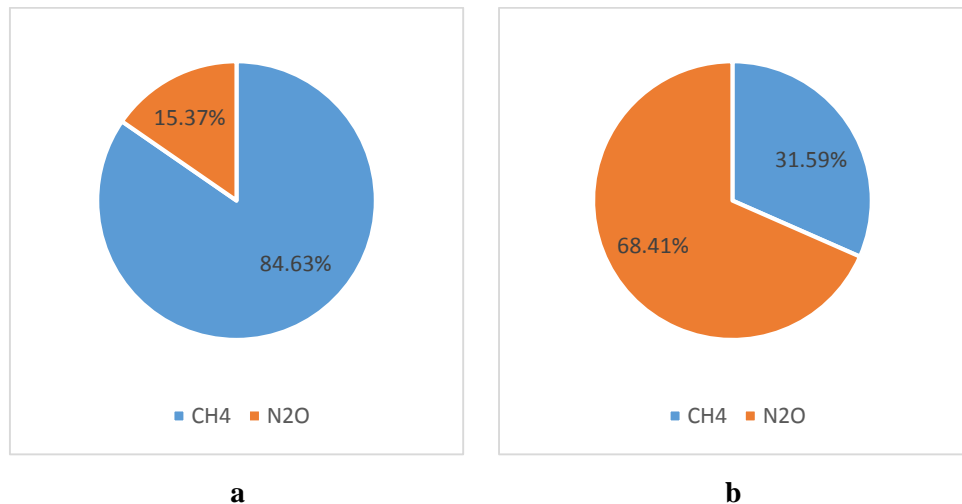
Dari estimasi yang dilakukan telah diketahui seberapa besar emisi yang dihasilkan. Hanya saja dikarenakan perbedaan senyawa dan pengaruhnya terhadap pemanasan global, maka kedua emisi terlebih dahulu dikalkulasi berdasarkan tingkat pengaruh terhadap pemanasan global. Hasilnya dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 4.2 Hasil Estimasi dengan Metode IPCC

	Emisi	GWP
Emisi CH ₄	18265.588 kg CH ₄ /tahun	0.4566 Gg CO ₂ eq/tahun
Emisi N ₂ O	3318.5228 kg N ₂ O/tahun	0.9889 Gg CO ₂ eq/tahun
Total		1.4455 Gg CO ₂ eq/tahun

Dapat dilihat dari tabel diatas bahwa secara kuantitas emisi CH₄ memiliki jumlah yang lebih besar daripada emisi N₂O. Persentase emisi CH₄

dengan metode IPCC (Gambar 4.1a) adalah 84.63% dari total emisi, dan untuk emisi N₂O adalah 15.37%. Hanya saja untuk besaran GWP-nya CH₄ (Gambar 4.1b) hanya berkisar 31.59% sedangkan emisi N₂O sebesar 68.41% dari total emisi. Hal ini dikarenakan nilai GWP dari N₂O lebih besar daripada CH₄.



Gambar 4.1 Persentase emisi GRK dengan metode IPCC

Estimasi GRK yang dilakukan oleh Coster di IPAL Pukehoke Selandia Baru yang menggunakan sistem pengolahan tiga kolam fakultatif dan *wetland*. Menunjukkan besaran emisi CH₄ sebesar 0.107 GgCH₄/tahun (99.67% dari total emisi) dan emisi N₂O sebesar 0.00035 Gg N₂O/tahun, dengan jumlah populasi terlayani sebesar 32283 jiwa. Bila dikonversi ke CO_{2eq} emisi masing-masing GRK adalah 2.675 GgCO_{2eq}/tahun (96.25% dari total emisi) dan 0.1043 GgCO_{2eq}/tahun. Bila dibandingkan dengan emisi yang dihasilkan oleh IPAL Sewon, emisi CH₄ yang dihasilkan oleh IPAL Pukehoke jauh lebih besar dari pada IPAL Sewon, hanya saja untuk emisi N₂O emisi yang dihasilkan jauh lebih kecil daripada IPAL Sewon.

Pada estimasi lain yang dilakukan oleh Gupta dan Singh melakukan estimasi emisi dari dua IPAL yang terletak di Dehli, India. Yaitu IPAL Sen Nursing Home dengan kapasitas 10000 M³/hari dan IPAL Indrapuram dengan kapasitas 56000 M³/hari. Masing-masing IPAL menggunakan teknologi

pengolahan dengan sistem *High rate Biofilters Densadeg Technology* dan lumpur aktif. IPAL Sen Nursing Home diestimasi pertahunnya menghasilkan emisi CH₄ sebanyak 0.027 Gg CO₂eq (87.1% dari total emisinya) dan 0.004 GgCO₂eq gas N₂O (12.9% dari total emisi). IPAL Indrapuram di estimasikan menghasilkan emisi CH₄ sebesar 2.091 GgCO₂eq/tahun (99.1% dari total emisi) dan emisi N₂O sebesar 0.019 GgCO₂eq. Jika dibandingkan dengan IPAL Sewon yang rata-rata debit air limbahnya per tahun 2017 adalah 17376 M³/hari, emisi yang dihasilkan lebih besar jika dibandingkan dengan IPAL Sen Nursing Home. Bila dibandingkan dengan IPAL Indrapuram, emisi CH₄ dari IPAL ini jauh lebih besar daripada IPAL Sewon, dengan emisi N₂O nya lebih kecil daripada IPAL Sewon. Hasil estimasi dari kedua IPAL ini menunjukkan bahwa selain debit air limbah pilihan teknologi juga ikut mempengaruhi kuantitas emisi yang dihasilkan.

Dari hasil kalkulasi nilai GWP dari kedua emisi, berikutnya dilakukan kalkulasi total emisi yang dihasilkan dari aktivitas pengolahan dan penyaluran air limbah IPAL Sewon untuk tahun inventori 2017 dengan menggunakan metode IPCC 2006

$$\text{Total Emisi} = \text{Emisi CH}_4 + \text{Emisi N}_2\text{O}$$

$$\begin{aligned} \text{Total Emisi} &= \mathbf{0.4566 \text{ Gg CO}_2\text{eq/tahun} + 0.9889 \text{ Gg CO}_2\text{eq/tahun}} \\ &= \mathbf{1.4455 \text{ Gg CO}_2\text{eq/tahun}} \end{aligned}$$

4.4 Emisi GRK dengan Metode US EPA 2013

Secara sederhana kalkulasi dilakukan berdasarkan sumber emisi yang diamati dengan mengalikan faktor emisi dengan data aktivitas dari sumber emisi. Dokumen EPA untuk usaha estimasi gas rumah kaca, tidak membagi tingkatan data berdasarkan tingkat ketersediaan data. Perihal ini dikarenakan asumsi bahwa data yang dimiliki umumnya sudah cukup lengkap sehingga tidak memerlukan nilai/default untuk kalkulasinya.

Hanya saja pada estimasi ini walaupun menggunakan metode EPA, data yang dimiliki cenderung terbatas sehingga untuk beberapa data dan faktor masih akan menggunakan data yang disediakan pada pedoman IPCC 2006.

4.4.1 Emisi CH₄

Berikut rumus yang umum digunakan untuk mengestimasi emisi CH₄ dari air limbah domestik berdasarkan metode dari US EPA.

$$E_{ct,y} = BOD_{tot,y} \times (WW_{j,y} \times (1 - \%R_{j,y}) \times EF_{j,y})$$

Dimana:

$E_{ct,y}$ merupakan jumlah emisi CH₄ dalam satu tahun inventarisasi dinyatakan dalam (Gg).

$BOD_{tot,y}$ menyatakan nilai BOD yang dihasilkan dari air limbah per orang dalam waktu satu tahun. Data ini berbeda untuk setiap negara dikarenakan perbedaan pola hidup. Berdasarkan data *default* dari pedoman IPCC, jumlah BOD yang dihasilkan warga Indonesia per tahunnya sebesar 14.6 kg BOD/tahun.

$WW_{j,y}$ menyatakan fraksi/persentase air limbah yang diolah. Pada estimasi ini diasumsikan bahwa air limbah yang diolah adalah yang masuk ke dalam pipa penyalur limbah dan tidak ada kebocoran terjadi di sepanjang pipa. Maka berdasarkan pedoman dari USEPA nilai faktor ini sama dengan 1

$\%R_{j,y}$ menyatakan persentase degradasi/*removal* BOD air limbah oleh sistem pengolahan. Setiap unit memiliki desain spesifikasi removal untuk parameter tertentu. Estimasi ini menggunakan persentase removal BOD keseluruhan sistem pengolahan. Nilai persentase ini diperoleh dengan membandingkan rata-rata BOD influent dan effluent dalam waktu satu tahun. Dengan menggunakan data kandungan BOD selama tahun 2017 (data lengkap lihat lampiran) pada air limbah yang masuk ke instalasi dan effluent yang di lepas ke badan air. Data ini diperoleh dari laboratorium Balai PISAMP. Maka nilai yang diperoleh adalah 93.26 % atau 0.9326, untuk perhitungannya bisa dilihat di lampiran 1.

$EF_{j,y}$ menyatakan faktor emisi CH_4 . Pedoman EPA yang digunakan tidak mencantumkan nilai faktor emisi CH_4 , sehingga untuk faktor emisi yang digunakan bersumber dari pedoman IPCC. Nilai untuk faktor emisi adalah 0.12

Rumus untuk penentuan jumlah BOD yang dihasilkan dalam waktu satu tahun.

$$BOD_{tot,y} = P \times BOD \times 365.25$$

Dimana:

P menyatakan jumlah penduduk yang melakukan pembuangan air limbah, yang mana menyatakan jumlah warga yang dilayani oleh IPAL. Data yang diperoleh dari PISAMP DIY hanya menunjukkan jumlah sambungan rumah (SR) yang dilayani, sehingga peneliti menggunakan asumsi bahwa setiap sambungan setara dengan lima jiwa.

Data sambungan dari PISAMP DIY pada tahun 2018 sebesar 23481 sehingga jumlah populasi yang dilayani sebesar 117405 jiwa

BOD menyatakan nilai BOD air limbah oleh setiap penduduk perharinya. Data ini berbeda untuk setiap negara dikarenakan perbedaan pola hidup. Berdasarkan data *default* dari pedoman IPCC, jumlah BOD yang dihasilkan penduduk Indonesia per harinya sebesar 40 gr BOD/orang/hari

Jumlah hari dalam waktu satu tahun dinyatakan sebagai 365.25 hari

Sehingga perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$BOD_{tot,y} = P \times BOD \times 365.25$$

$$\begin{aligned} BOD_{tot,y} &= 117405 \text{ jiwa} \times 40 \text{ gr BOD/orang/hari} \times 365.25 \\ &= \mathbf{1715287.05 \text{ kg BOD/tahun}} \end{aligned}$$

Emisi CH_4 yang dihasilkan dalam satu tahun inventori adalah sebagai berikut

$$E_{ct,y} = BOD_{tot,y} \times (WW_{j,y} \times (1 - \%R_{j,y}) \times EF_{j,y})$$

$$\begin{aligned}
 E_{ct,y} &= 1715287.05 \text{ kg BOD/tahun} \times (1 \times (1 - 0.9326) \times 0.12) \\
 &= \mathbf{13873.24166 \text{ kg CH}_4\text{/tahun}
 \end{aligned}$$

Bila dinyatakan dalam karbon dioksida ekuivalen (CO₂eq), sebagai berikut:

$$CO_{2eq} = GHG_i \times GWP_i$$

Dimana:

CO₂eq menyatakan emisi dalam karbon dioksida ekuivalen, Gg CO₂eq/tahun

GHG_i menyatakan jumlah emisi tiap jenis GRK, dari hasil perhitungan emisi sebelumnya.

GWP_i menyatakan nilai potensi pemanasan global. Pada dokumen EPA yang digunakan tidak menyatakan nilai GWP, maka nilai GWP yang digunakan berdasarkan dokumen IPCC. Nilai GWP CH₄ = 25

Perhitungannya sebagai berikut

$$\begin{aligned}
 CO_{2eq} &= GHG_i \times GWP_i \\
 CO_{2eq} &= 13873.24166 \text{ kg CH}_4\text{/tahun} \times 25 \\
 &= \mathbf{346831.0415 \text{ kg CO}_2\text{eq/tahun} \\
 &= \mathbf{0.3468 \text{ Gg CO}_2\text{eq/tahun}
 \end{aligned}$$

4.4.2 Emisi N₂O

Sama halnya dengan pedoman IPCC metode dari US EPA untuk emisi N₂O juga ada dua, dengan pembagian yang sama. Dengan alasan yang sama maka metode yang digunakan adalah metode untuk emisi N₂O yang bersumber dari influent air limbah yang masuk ke dalam sistem perpipaan IPAL. Dengan asumsi bahwa tidak terjadi kebocoran pada pipa penyalur dan seluruh influent air limbah sampai ke lokasi instalasi.

$$\text{Emisi N}_2\text{O} = \{[(P \times F_{tp,y}) - (0.9 \times \text{POP}_{dn,y})] \times \text{Protein} \times F_{NPR} \times F_{\text{NON-CON}} \times F_{\text{NON-COM}} - \text{NSLUDGE}\} \times E_{\text{EFFLUENT}} \times (44/28)$$

Dimana:

$N_2O_{\text{eff},y}$ menyatakan jumlah emisi N_2O pada tahun inventori (Gg)

P menyatakan jumlah penduduk yang melakukan pembuangan air limbah, yang mana menyatakan jumlah warga yang dilayani oleh IPAL. Data yang diperoleh dari PISAMP DIY hanya menunjukkan jumlah sambungan rumah (SR) yang dilayani, sehingga peneliti menggunakan asumsi bahwa setiap sambungan setara dengan lima jiwa.

Data sambungan dari PISAMP DIY pada tahun 2018 sebesar 23481 sehingga jumlah populasi yang dilayani sebesar 117405 jiwa

$F_{tp,y}$ menyatakan fraksi populasi yang menggunakan pengolahan air limbah. Dalam hal ini populasi yang dimaksud adalah populasi yang air limbahnya dialirkan ke IPAL, dan berada di dalam asumsi bahwa tidak ada *loss* air limbah sepanjang pipa penyalur. Maka nilai nilai fraksinya sama dengan 1

Nilai default untuk jumlah fraksi nitrogen yang dihilangkan oleh sistem denitrifikasi adalah 0.9

$\text{POP}_{dn,y}$ menyatakan fraksi populasi yang dilayani oleh denitrifikasi. Diasumsikan bahwa seluruh populasi yang air limbahnya dialirkan ke instalasi merupakan populasi yang terlayani oleh proses denitrifikasi. Maka nilai fraksi ini sama dengan 1

Protein menyatakan jumlah konsumsi protein perorang dalam waktu satu tahun (kg/orang/tahun). Jumlah konsumsi protein penduduk Indonesia menurut FAO adalah 56 g/kapita/hari, sehingga dalam waktu satu tahun jumlah konsumsi proteinnya adalah 20.44 kg protein/orang/tahun

F_{NPR} menyatakan nilai fraksi nitrogen di dalam protein. Faktor ini menggunakan nilai default dari pedoman IPCC, karena dokumen EPA yang digunakan tidak mencantumkan nilai spesifik untuk faktor ini dan metode yang digunakan oleh US EPA juga mengacu pada pedoman IPCC 2006. Maka nilai faktor ini adalah 0.16 kg N/kg protein

$F_{\text{NON-CON}}$ menyatakan nilai untuk faktor protein non-konsumsi. Faktor ini akan menggunakan nilai default yang tercantum di pedoman IPCC, dengan alasan yang sama dengan faktor yang sebelumnya. Maka nilai faktor ini adalah 1.1

$F_{\text{NON-COM}}$ menyatakan faktor untuk air limbah dari sumber industri dan komersil yang masuk kedalam sistem sewer. Diasumsikan bahwa tidak ada air limbah dari sektor industri dan komersil yang masuk kedalam sistem sewer. Maka nilai faktornya adalah 1

N_{SLUDGE} menyatakan jumlah komponen nitrogen yang terdegradasi bersama lumpur pertahunnya, dinyatakan dalam kg N/tahun. Dalam perhitungan ini diasumsikan tidak ada lumpur yang diambil (nilai = 0). Dalam pengelolaan air limbah PISAMP DIY tidak melakukan pengkuran debit lumpur. Selain itu laboratorium PISAMP DIY juga tidak melakukan pengujian kandungan nitrogen yang terdapat pada lumpur yang dihasilkan.

E_{EFFLUENT} menyatakan nilai faktor emisi dari effluent air limbah ($\text{N}_2\text{O-N/kg sewage-N produced}$). Nilai untuk faktor ini mengacu pada nilai default untuk faktor yang sama di pedoman IPCC 2006 yaitu $0.005 \text{ N}_2\text{O-N/kg N}$. Hal ini didasari bahwa dokumen IPCC yang digunakan tidak mencantumkan nilai untuk faktor ini dan dokumen EPA untuk estimasi GRK juga mengacu pada pedoman IPCC 2006.

44/28 merupakan rasio untuk berat molekul N_2O terhadap N_2 .

Perhitungannya sebagai berikut

$$\text{N}_2\text{O}_{\text{eff},y} = \{ [(((\text{POP}_y \times F_{\text{tp},y}) - (0.9 \times \text{POP}_{\text{dn},y})) \times \text{Pro}_y \times N_{\text{pro}} \times F_{\text{nc}} \times F_{\text{ic}}) - N_{\text{s},y}] \times E_{\text{eff}} \times (44/28) \}$$

$$\begin{aligned} \text{N}_2\text{O}_{\text{eff},y} &= \{ [((((117405 \text{ jiwa} \times 1) - (0.9 \times 1)) \times 20.44 \text{ kg protein/} \\ &\quad \text{orang/tahun} \times 0.16 \text{ kg N/kg protein} \times 1.1 \times 1) - 0] \times 0.005 \\ &\quad \text{N}_2\text{O-N/kg N} \times (44/28) \} \\ &= \mathbf{3318.4973 \text{ kg N}_2\text{O/tahun}} \end{aligned}$$

Bila dinyatakan dalam karbon dioksida ekuivalen (CO₂eq), sebagai berikut:

$$CO_{2e} = GHG_i \times GWP_i$$

Dimana:

CO₂eq menyatakan emisi dalam karbon dioksida ekuivalen, Gg CO₂eq/tahun

GHG_i menyatakan jumlah emisi tiap jenis GRK, dari hasil perhitungan emisi sebelumnya.

GWP_i menyatakan nilai potensi pemanasan global yang berdasarkan dokumen IPCC (Tabel 3.1), nilai GWP untuk N₂O adalah 298.

Perhitungannya sebagai berikut

$$CO_{2eq} = GHG_i \times GWP_i$$

$$\begin{aligned} CO_{2eq} &= 3318.4973 \text{ kg N}_2\text{O/tahun} \times 298 \\ &= \mathbf{988912.2040 \text{ kg CO}_{2eq}/\text{tahun}} \\ &= \mathbf{0.9889 \text{ Gg CO}_{2eq}/\text{tahun}} \end{aligned}$$

4.4.3 Total Emisi Metode USEPA

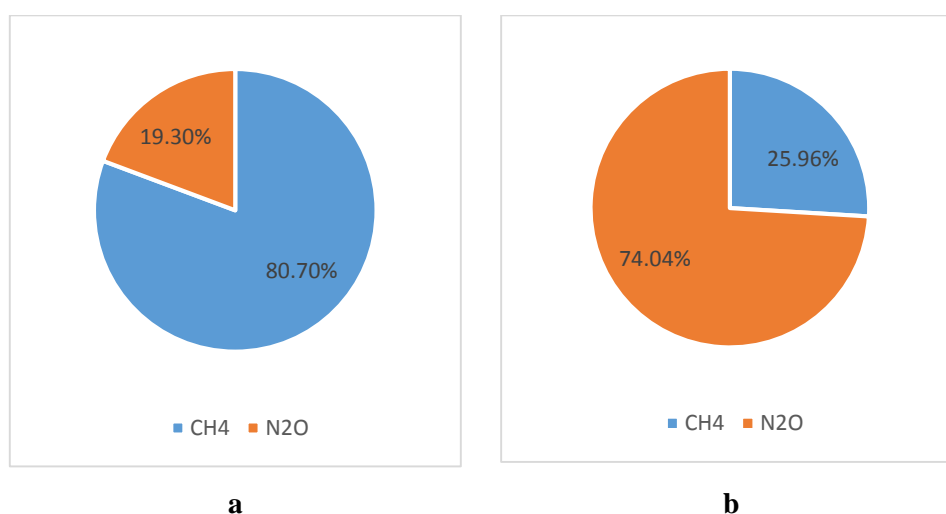
Dari estimasi yang dilakukan telah diketahui seberapa besar emisi yang dihasilkan. Hanya saja dikarenakan perbedaan senyawa dan pengaruhnya terhadap pemanasan global, maka kedua emisi terlebih dahulu dikalkulasi berdasarkan tingkat pengaruh terhadap pemanasan global. Hasil estimasi emisi GRK dari sumber air limbah di IPAL Sewon Bantul dengan menggunakan metode dari *Methodologies fo U.S. Greenhouse Gas Emissions Projections: Non-CO₂ and Non-Energy CO₂ Sources (2013)*, lihat Tabel 43.

Dapat dilihat dari tabel diatas bahwa secara kuantitas emisi CH₄ memiliki jumlah yang lebih besar daripada emisi N₂O. Persentase emisi CH₄ dengan metode IPCC (gambar 4.2a) adalah 80.7% dari total emisi, dan untuk emisi N₂O

Tabel 4.3 Hasil Estimasi dengan Metode USEPA

	Emisi	GWP
Emisi CH ₄	13873.2417kg CH ₄ /tahun	0.3468 Gg CO ₂ eq/tahun
Emisi N ₂ O	3318.4973 kg N ₂ O/tahun	0.9889 Gg CO ₂ eq/tahun
Total		1.3357 Gg CO ₂ eq/tahun

adalah 19.3%. Untuk kuantitas emisi berdasarkan nilai GWP (Gambar 4.2b), persentase emisi CH₄ berkisar 25.96% sedangkan emisi N₂O sebesar 74.04% dari total emisi. Hal ini dikarenakan nilai GWP dari N₂O lebih besar daripada CH₄, sehingga walupun kuantitas dari emisi N₂O lebih kecil jika dibandingkan emisi yang lain. Efek yang dihasilkan terhadap pemanasan global jauh lebih besar.



Gambar 4.2 Persentase emisi GRK dengan metode USEPA

Dari hasil kalkulasi nilai GWP dari kedua emisi, berikutnya dilakukan kalkulasi total emisi yang dihasilkan dari aktivitas pengolahan dan penyaluran air limbah IPAL Sewon untuk tahun inventori 2017 dengan menggunakan metode US EPA 2013

Total Emisi = Emisi CH₄ + Emisi N₂O

Total Emisi = **0.3468 Gg CO₂eq/tahun + 0.9889 Gg CO₂eq/tahun**
= 1.3357 Gg CO₂eq/tahun

4.5 Perbandingan

Bila diperhatikan setiap metode yang digunakan untuk mengestimasi emisi CH₄ memiliki persamaan dan perbedaan yang menentukan hasil yang diperoleh. Persamaan dari kedua metode ada pada bagaimana penentuan jumlah BOD pada air limbah yang dihasilkan pertahunnya. Setiap metode melakukan kalkulasi dengan menghitung jumlah BOD per kapita dalam waktu satu tahun yang mana dikalikan dengan jumlah penduduk, yang mana dalam kesempatan ini adalah penduduk yang air limbahnya disalurkan ke pengolahan terpusat.

Faktor protein non-konsumsi, fraksi nitrogen di dalam protein dan faktor yang menyatakan ada tidaknya air limbah dari sumber industri dan komersil yang masuk kedalam sistem sewer. Menggunakan nilai yang sama untuk kedua metode yang digunakan.

Bila dilihat dari hasil perhitungan jumlah BOD pertahunnya, jumlah BOD yang dihasilkan memiliki perbedaan yang tipis. Hal ini disebabkan oleh perbedaan dalam penentuan jumlah hari dalam waktu satu tahun. Pada pedoman IPCC, satu tahun setara dengan 365 hari, sedangkan pada metode US EPA satu tahun setara dengan 365.25 hari.

Perbedaan muncul dari bagaimana nilai EF ini ditentukan. Pada metode IPCC dilakukan kalkulasi dengan cara mengalikan besaran kapasitas produksi gas CH₄ (yang nilainya sudah ditentukan oleh pedoman IPCC) dengan faktor koreksi metana (MCF). Nilai MCF mewakili jenis pengolahan yang digunakan pada IPAL, terhadap kaitannya dengan sebesar apa potensi emisi CH₄ yang dihasilkan. Semakin besar nilai MCF maka sistem pengolahan cenderung bertipe pengolahan anaerobik, begitu pula sebaliknya.

Pedoman US EPA dalam mengestimasi emisi GRK tidak mencantumkan metode kalkulasi atau tabel yang dapat digunakan untuk menentukan

nilai EF. Pedoman US EPA hanya menyatakan bahwa nilai EF menjadi acuan dalam membedakan jenis pengolahan yang digunakan, berdasarkan besar potensi emisi CH_4 yang dihasilkan. Maka untuk nilai EF pada kalkulasi dengan metode US EPA menggunakan nilai yang sama dengan metode IPCC. Hal ini didasari bahwa pada kenyataannya sistem pengolahan yang digunakan memang sama.

Secara umum perbedaan dari metode IPCC dan USEPA dalam estimasi emisi CH_4 dari IPAL terdapat pada fokus dari faktor yang digunakan. Metode dari IPCC menggunakan faktor yang di dasari oleh kaitan antara tingkat urbanisasi (U_i) dengan penggunaan metode pengolahan dan cara penyaluran (T_{ij}) untuk setiap kelompok penghasilan. Kedua faktor ini mewakili kondisi kawasan/masyarakat yang terlayani oleh IPAL. Metode dari US EPA menggunakan fraksi tingkat degradasi BOD dari sistem pengolahan serta fraksi air limbah masuk yang diolah oleh sistem. Faktor ini mewakili kondisi teknis dari teknologi pengolahan yang digunakan.

Bila dilihat dari komponen yang digunakan dalam kalkulasi estimasi emisi N_2O , kedua metode hampir sepenuhnya sama. Yang membedakan adalah proses kalkulasinya dan penggunaan fraksi jumlah nitrogen yang terdegradasi pada proses dinitrifikasi dan fraksi populasi yang terlayani oleh IPAL dalam proses kalkulasinya. Fraksi jumlah nitrogen terdegradasi yang bernilai 0.9 menjadi alasan mengapa hasil estimasi dari metode IPCC dan USEPA berbeda. Bila nilai faktor ini = 1, maka hasil estimasi dari kedua metode akan mendapat potensi emisi N_2O yang sama.

Sama halnya dengan estimasi emisi CH_4 , dalam estimasi emisi N_2O berdasarkan Metode USEPA tidak mencantumkan cara atau tabel penentuan nilai faktor yang digunakan. Maka selain untuk nilai fraksi fraksi jumlah nitrogen yang terdegradasi pada proses dinitrifikasi (yang tercantum di rumusnya langsung) dan fraksi populasi yang terlayani oleh IPAL, faktor yang lain menggunakan nilai yang sama, dengan nilai yang digunakan pada metode dari IPCC.

4.6 Rekomendasi Penanggulangan Emisi GRK dari Sumber IPAL

Usaha untuk penanggulangan emisi CH_4 dari sumber IPAL bisa dibagi atas tiga cara, yaitu:

1. Penambahan/penggantian aerator,
2. Penangkapan emisi,
3. Penggantian teknologi pengolahan.

USEPA (2013) menyatakan bahwa emisi CH_4 dihasilkan dari proses degradasi material organik pada kondisi anaerobik. Mengingat sistem pengolahan yang digunakan adalah aerobik fakultatif, maka tidak sepenuhnya kolam dalam kondisi aerobik. Rekomendasi ini di dasari oleh pertimbangan bahwa pengolahan air limbah secara aerobik memiliki jumlah emisi CH_4 lebih kecil daripada pengolahan dengan fakultatif aerobik. Perihal ini bisa dilihat dari nilai koreksi metana yang tercantum pada Pedoman IPCC, yang mana nilai koreksi metana pengolahan aerasi lebih kecil daripada pengolahan secara anaerobik. Dari sini diambil kesimpulan bahwa pengolahan fakultatif aerobik yang juga menerapkan kondisi anaerobik pada pengolahan memiliki nilai koreksi metana yang lebih kecil daripada pengolahan secara aerobik. Agar kondisi kolam menjadi aerobik maka perlu dilakukan penambahan jumlah oksigen kedalam air. Edahwati (2009) menuliskan bahwa usaha penambahan oksigen bisa dilakukan dengan dua cara yaitu: memasukkan udara ke dalam air limbah dan memaksa air limbah bersentuhan dengan udara.

Penambahan udara dapat dilakukan dengan teknologi mikro atau nano bubble yang mana udara di alirkan dari dasar kolam pengolahan, sehingga air limbah bisa bersentuhan langsung dengan udara. Udara yang dialirkan bisa berupa udara ambien atau udara dengan konsentrasi oksigen yang telah dinaikkan. Saat ini IPAL Sewon menggunakan aerator kincir untuk melakukan penambahan udara ke dalam kolam. Tapi dengan teknologi ini masih ada emisi CH_4 yang dihasilkan, hal ini bisa dilihat dari hasil estimasi dari IPAL Sewon di mana masih ada emisi CH_4 yang dihasilkan. Maka diperlukan penambahan jumlah atau mengganti model kincir yang digunakan

ke yang lebih efisien dalam mensuplai udara ke air limbah. Dengan penambahan atau penggantian alat aerasi diharapkan kolam sepenuhnya dalam kondisi aerobik, sehingga potensi emisi CH_4 menjadi sangat minim.

Global Methane Initiative (2013) menyatakan salah satu cara dalam penanggulangan emisi CH_4 adalah dengan cara penangkapan emisi. Penangkapan emisi dilakukan dengan menutupi seluruh permukaan dari kolam IPAL Sewon, baik dengan penutup berbahan plastik atau bahan lain. Bila sistem pengolahan tidak diubah, maka suplai udara kedalam sistem harus selalu tetap dilakukan agar system pengolahan masih tergolong fakultatif aerobik. Pilihan lainnya adalah dengan menutupi seluruh kolam tanpa suplai oksigen, sistem pengolahan limbah diubah sepenuhnya menjadi anaerobik.

Penggantian teknologi pengolahan yang dimaksud adalah mengganti seluruh teknologi pengolahan yang digunakan. Misalnya teknologi pengolahan dengan *anaerobic digester* dimana sistem pengolahannya bersifat tertutup, sehingga emisi yang dihasilkan dapat langsung ditangkap, baik itu emisi CH_4 atau emisi N_2O . Tentunya penggantian dengan teknologi lainnya harus memperhatikan potensi emisi GRK dari pengolahan tersebut dan bagaimana cara penanggulangannya.

Penanggulangan emisi N_2O dari sumber IPAL juga dapat dilakukan yang paling cocok dilakukan adalah dengan cara melakukan penangkapan emisi. Hal ini dikarenakan proses terbentuknya emisi N_2O masih belum bisa di kontrol atau diperkirakan. Pernyataan ini didasari oleh metode estimasi yang digunakan, kedua metode yang digunakan tidak menunjukkan factor yang terkait dengan sistem pengolahan untuk estimasi emisi N_2O . Dengan pilihan penutupan seluruh permukaan kolam, Emisi N_2O juga dapat ditangkap yang mana nantinya bisa digunakan kembali untuk keperluan lainnya. Untuk alternatif penggantian teknologi, perlu diperhatikan juga potensi emisi N_2O dari teknologi yang dipilih, serta metode untuk penanganan emisi dari teknologi tersebut