

ANALISIS PEMBAKARAN GAS METANA PADA UNIT *FLARING* WASTEWATER TREATMENT PLANT (WWTP)

Citra Devia Maulidian¹, Rosita Dwi Chrisnandari¹, Eko Sri Agus Setiawan²

¹Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia

²PT Indolakto Purwosari Jl. Raya Purwosari KM. 62, Kabupaten Pasuruan 67162, Indonesia

citradeviamldn@gmail.com ; [\[rositadwi86@polinema.ac.id\]](mailto:rositadwi86@polinema.ac.id)

ABSTRAK

PT Indolakto Purwosari memiliki unit untuk pengolahan limbah cair dengan proses anaerob. Unit yang digunakan yaitu reaktor *Expanded Granular Sludge Bed* (EGSB) dan *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB) untuk mengolah supernatan, dan *Continuous Stirred Tank Reactor* (CSTR) untuk mengolah *sludge*. Pada prosesnya, digesti bakteri anaerob menghasilkan gas metana. Oleh karena gas metana yang dihasilkan tidak dimanfaatkan kembali, maka gas metana diarahkan ke unit *flaring* untuk dibakar. Pembakaran gas metana pada unit *flaring* menghasilkan api yang dapat menjadi indikator kandungan gas metana hasil digesti bakteri anaerob. Semakin tinggi kandungan gas metana, maka warna api yang dihasilkan akan didominasi warna biru. Namun, pada WWTP PT Indolakto Purwosari, warna api yang dihasilkan tidak murni berwarna biru, melainkan terdapat sedikit warna merah, dan terjadi pula ketidakstabilan pada nyala api. Oleh karena itu, dilakukan analisis mengenai penyebab warna api dari pembakaran gas metana pada unit *flaring* di PT Indolakto Purwosari. Analisis dilakukan dengan melakukan perhitungan jumlah gas yang masuk unit *flaring* dan perhitungan suhu pembakaran pada unit *flaring* berdasarkan konsentrasi gas metana sehingga didapatkan pengaruh konsentrasi gas metana terhadap warna dan nyala api pada unit *flaring*. Hasil analisis menunjukkan bahwa konsentrasi rata-rata gas metana per harinya yang dihasilkan dari proses anaerob unit WWTP PT Indolakto sebesar 52%, warna api di unit WWTP didominasi oleh warna biru, namun masih terdapat api berwarna jingga dikarenakan konsentrasi gas metana <60% yang disebabkan karena adanya gas CO₂ sebanyak 48%.

Kata kunci: *digesti anaerob, metana, unit flaring, WWTP*

ABSTRACT

PT Indolakto Purwosari has a unit for wastewater treatment with an anaerobic process. The reactors are the Expanded Granular Sludge Bed (EGSB) and Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) to process the supernatant, and the Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR) to process the sludge. The process of dissolution by anaerobic bacteria produces methane gas. Because the methane gas produced is not reused, it is directed to the flaring unit to be burned. Combustion of methane gas in a flaring unit produces a flame, which can be an indicator of methane gas content digested by anaerobic bacteria. The higher the methane gas content, the more the resulting flame color should be dominated by blue. However, in WWTP PT Indolakto Purwosari, the color of the fire produced is not a pure blue, but there is a bit of orange, and there is also instability in the flame. Therefore, an analysis was carried out regarding the causes of the color of the flame from burning methane gas in the flaring unit at PT Indolakto Purwosari. The analysis was carried out by calculating the amount of gas entering the flaring unit and calculating the combustion temperature in the flaring unit based on the concentration of methane gas, so that the effect of the concentration of methane gas on the color and flame of the flaring unit could be obtained. The results show that the average concentration of methane gas per day produced from the anaerobic process

Keywords: *anaerob digestion, methane, flaring unit, WWTP*



1. PENDAHULUAN

WWTP (*Wastewater Treatment Plant*) merupakan infrastruktur pengolahan air limbah yang bertujuan untuk mengurangi kandungan bahan pencemar yang terkandung dalam air limbah. Kandungan pencemar yang dapat dikurangi meliputi senyawa organik, padatan tersuspensi, mikroba patogen, dan senyawa organik yang tidak dapat diuraikan oleh mikroorganisme yang terdapat di alam [1]. Pada industri pengolahan susu seperti PT Indolakto Purwosari, limbah cair yang dihasilkan telah melewati proses pada WWTP sehingga limbah tersebut dapat dialirkan ke badan sungai di sekitar pabrik. Hal ini dilakukan agar tidak membahayakan ekosistem di dalamnya. WWTP PT Indolakto Purwosari, menggunakan sistem pengolahan limbah secara biologi. Pengolahan limbah secara biologi merupakan salah satu metode paling andal untuk pemurnian limbah susu, karena dapat mengasimilasi semua komponen air limbah susu dengan menggunakan senyawa larut dan koloid kecil. Pengolahan secara biologi terbagi menjadi 2 yaitu aerobik dan anaerobik [2].

Pada WWTP PT Indolakto Purwosari terdapat unit untuk pengolahan limbah cair dengan proses anaerob. Unit yang digunakan yaitu reaktor *Expanded Granular Sludge Bed* (EGSB) dan *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB) untuk mengolah supernatan, dan *Continuous Stirred Tank Reactor* (CSTR) untuk mengolah *sludge*. Pada prosesnya, digesti bakteri anaerob menghasilkan gas metana. Metana (CH_4) dapat menimbulkan ledakan dan kebakaran jika berada di udara dengan konsentrasi 5-15% [3]. Selain itu, konsentrasi gas metana yang tinggi akan mengurangi konsentrasi oksigen di atmosfer sehingga menyebabkan gejala kekurangan oksigen, keluhan gangguan pernapasan seperti batuk, nyeri dada, dan sesak napas [3-5]. Jika kandungan oksigen di udara hingga di bawah 19,5% akan mengakibatkan asfiksia atau hilangnya kesadaran makhluk hidup karena kekurangan asupan oksigen dalam tubuh [7]. Oleh karena gas metana yang dihasilkan tidak dimanfaatkan kembali, maka gas metana diarahkan ke unit *flaring* untuk dibakar.

Pembakaran gas metana pada unit *flaring* menghasilkan api yang dapat menjadi indikator kandungan gas metana hasil digesti bakteri anaerob. Semakin tinggi kandungan gas metana, maka warna api yang dihasilkan akan didominasi warna biru. Permasalahan yang ditemui adalah warna api pada unit *flaring* PT Indolakto Purwosari yang dihasilkan tidak murni berwarna biru, melainkan terdapat sedikit warna merah. Selain itu, terjadi pula ketidakstabilan pada nyala api. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan analisis mengenai penyebab warna api dari pembakaran gas metana pada unit *flaring* di PT Indolakto Purwosari.

Penelitian mengenai analisis gas metana pada PT Indolakto Purwosari telah dilakukan sebelumnya oleh Rifnaputri (2022) yang membahas perancangan proses pengolahan limbah industri susu serta perhitungan reaksi kimia pada unit aerobik, menyatakan bahwa *methane productivity* pada proses di unit WWTP PT Indolakto Purwosari sebesar $500.279 \text{ m}^3/\text{hari}$ [8]. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan keterbahaaran penelitian mengenai perhitungan konsentrasi gas metana yang dihasilkan pada unit anaerobik dan analisis mengenai warna api di unit *flaring* WWTP PT Indolakto Purwosari.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1. Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan observasi dan pengumpulan data. Metode observasi (pengamatan) dengan cara pengambilan sampel dan uji nilai COD *output* pada reaktor CSTR 2, UASB, dan EGSB di WWTP PT Indolakto Purwosari. Selanjutnya untuk metode pengumpulan data yaitu dengan mengumpulkan data berupa nilai COD *input*, dimensi reaktor, *feeding* pada reaktor, dan debit influen reaktor.

2.2. Pengolahan Data

Data yang telah didapatkan kemudian dilakukan perhitungan jumlah gas yang masuk unit *flaring*, dilanjutkan dengan perhitungan suhu pembakaran pada unit *flaring* berdasarkan konsentrasi gas metana. Rumus-rumus yang digunakan untuk perhitungan dirinci di bawah ini :

1. Perhitungan Konsentrasi Gas CH₄ dan CO₂
 - a. Massa gas CH₄ dan CO₂ dari EGSB dan UASB

$$CH_4 = Q_{WW} \times OD \times Eff_{OD} \times CF_{CH_4} \times [(1 - MCF_{WW} \times BG_{CH_4})(1 - \lambda)] \quad (1)$$

$$CO_2 = Q_{WW} \times OD \times Eff_{OD} \times CF_{CO_2} \times [(1 - MCF_S \times BG_{CH_4})(1 - \lambda)] \quad (2)$$

dengan asumsi bahwa seluruh unsur karbon pada bahan organik dapat terolah.

- b. Massa gas CH₄ dan CO₂ dari CSTR 2

$$CH_4 = Q_{WW} \times OD \times Eff_{OD} \times CF_{CH_4} \times [\lambda(MCF_S \times BG_{CH_4})] \quad (3)$$

$$CO_2 = Q_{WW} \times OD \times Eff_{OD} \times CF_{CO_2} \times [\lambda(1 - MCF_S \times BG_{CH_4})] \quad (4)$$

Keterangan :

CH_4 : *emission rate* (g CH₄/jam)

Q_{WW} : debit influen (m³/jam)

OD : *oxygen demand* tiap unit untuk mengolah air limbah yang masuk, dapat dihitung dengan konsentrasi COD di tiap unit (mg/L)

Eff_{OD} : efisiensi removal OD tiap unit

CF_{CH_4} : faktor konversi (0,5 g CH₄ /gOD)

CF_{CO_2} : faktor konversi (1,375 g CO₂ /gOD)

$MCF_{WW/S}$: faktor koreksi metana (0,8 untuk unit anaerobik)

BG_{CH_4} : fraksi karbon sebagai CH₄ pada biogas yang diproduksi (0,65)

λ : *biomass yield* (g C terkonversi ke biomassa/g C yang dikonsumsi pada unit pengolahan)

- c. Total volume rata-rata gas CH₄ dan CO₂ per hari
 - Mol rata-rata gas CH₄ dan CO₂ per hari

$$mol\ total = \frac{massa\ total}{Mr} \quad (5)$$

- Volume rata-rata gas CH₄ dan CO₂ per hari (suhu rata-rata Indonesia 30°C)

$$volume\ total = n \times 24,8634 \frac{L}{gmol} \quad (6)$$

d. Konsentrasi rata-rata gas CH₄ per hari

$$C_{CH_4} (\% v/v) = \frac{volume\ CH_4}{volume\ total} \times 100\% \quad (7)$$

2. Perhitungan Suhu Pembakaran Biogas

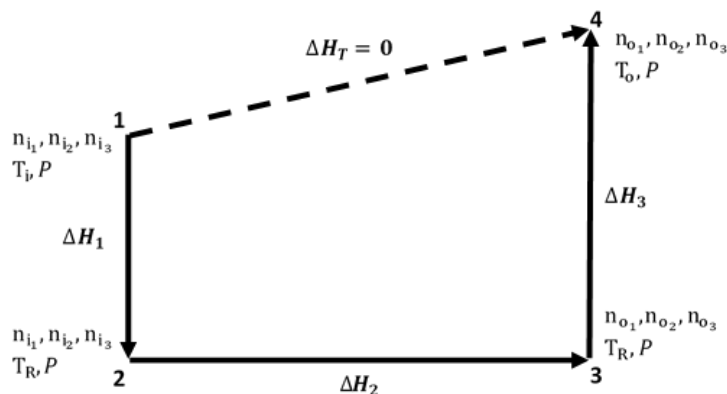
a. Fraksi mol CH₄ dan CO₂

$$y = \frac{konsentrasi\ CH_4\ atau\ CO_2}{konsentrasi\ total} \quad (8)$$

Fraksi mol kemudian digunakan untuk menghitung mol komponen pada *feed* dan produk berdasarkan reaksi :



b. Entalpi proses pembakaran



Gambar 1. Perubahan entalpi pada proses pembakaran biogas [18]

Pada Gambar 1. di atas, perubahan entalpi pada proses pembakaran biogas dapat dijelaskan melalui 3 tahapan untuk mempermudah perhitungan. Proses yang terjadi yaitu mulai dari kondisi awal biogas dan udara masuk ke pembakar pada suhu T_i hingga keluar menjadi produk pada suhu T_o . Pertama, suhu biogas dan udara masuk ke pembakar (T_i), didinginkan menjadi suhu acuan (T_R) 298°K. Lalu, reaksi pembakaran yang dihitung dengan entalpi pembentukan CH₄ dilakukan pada suhu konstan 298°K. Terakhir, produk dipanaskan dari suhu 298°K menjadi T_o .

$$\Delta H_1 = \int_{T_i}^{T_R} (n_{iCH_4} \cdot C_{PCH_4} + n_{iCO_2} \cdot C_{PCO_2} + n_{iO_2} \cdot C_{PCO_2} + n_{iN_2} \cdot C_{PN_2}) \cdot \partial T \quad (9)$$

$$\Delta H_2 = n_{iCH_4} \times \Delta H_C \quad (10)$$

$$\Delta H_3 = \int_{T_R}^{T_o} (n_{oCO_2} \cdot C_{PCO_2} + n_{oH_2O} \cdot C_{PH_2O} + n_{oN_2} \cdot C_{PN_2}) \cdot \partial T \quad (11)$$

$$\Delta H_T = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3 = 0 \quad (12)$$

Penjumlahan dari ketiga nilai entalpi yang didapatkan harus bernilai nol. Dengan menggunakan fitur solver pada *Microsoft Excel*, akan dihitung suhu T_o

2.3. Analisis Data

Pada tahap ini, hasil perhitungan pada pengolahan data akan disajikan dalam tabel dan dilakukan pendeskripsian hubungan antara konsentrasi gas metana hasil perhitungan terhadap warna dan nyala api pada unit *flaring*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Unit IPAL dengan konsentrasi COD (OD) yang akan dikonversi ke dalam *emission rate* adalah unit pengolahan anaerob, yaitu EGSB, UASB, dan CSTR 2. Untuk pengolahan pada CSTR 1, reaktor tidak berjalan setiap hari dan pipa gas metana tidak mengarah ke unit *flaring* sehingga tidak masuk dalam perhitungan meskipun termasuk pengolahan anaerob. Reaktor UASB merupakan reaktor anaerob dengan prinsip *upflow* dimana input berada pada bagian bawah dan output berada pada bagian atas. Aliran limbah ke permukaan akan melewati lumpur aktif yang berisi mikroorganisme pengurai, sehingga dapat mengurangi beban pencemaran serta menghasilkan biogas. Sedangkan reaktor EGSB merupakan pengembangan dari reaktor UASB. Reaktor EGSB beroperasi dengan *upflow velocity* dan *organic loading rate* lebih tinggi dari UASB. Pada PT Indolakto Purwosari, reaktor UASB dan EGSB digunakan untuk mengolah limbah dengan fase *supernatant*, sedangkan limbah dengan fase *sludge* akan diolah melalui reaktor CSTR. CSTR adalah reaktor yang menggunakan pengaduk di dalamnya, reaktor ini digunakan untuk menguraikan komponen organik pada *sludge* menggunakan bakteri anaerob sehingga menghasilkan gas metana.

Data-data yang didapat kemudian diolah untuk didapatkan total massa rata-rata gas CH_4 dan CO_2 per jam, dan dikonversikan menjadi total massa rata-rata gas CH_4 dan CO_2 per hari, dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil perhitungan gas metana yang masuk unit *flaring* pada PT Indolakto Purwosari

No	Unit	Q (m ³ /h)	COD in (mg/L)	COD out (mg/L)	COD efficiency	g CH ₄ /d	g CO ₂ /d
1	EGSB	25,32	1978,37	485,86	0,75	8843,81	22449,68
2	UASB	47,13	2010,66	330,17	0,84	18532,69	47044,52
3	CSTR 2	1,04	68090	38700	0,43	795,98	2020,56
TOTAL						676139,52	1716354,18

Setelah didapatkan total massa rata-rata gas CH_4 dan CO_2 per hari, dilakukan perhitungan mol rata-rata gas dan total volume rata-rata gas CH_4 dan CO_2 per hari untuk didapatkan konsentrasi rata-rata gas CH_4 per hari. Hasil perhitungan menyebutkan bahwa rata-rata konsentrasi gas CH_4 per hari adalah 52%.

Tabel 2. Jumlah mol komponen pada proses pembakaran biogas di unit *flaring* PT Indolakto Purwosari

Komponen	CH ₄ (gmol)	CO ₂ (gmol)	O ₂ (gmol)	H ₂ O (gmol)	N ₂ (gmol)
Feed	42258,72	39008,05	84517,44	0	317946,56
Produk	0	81266,77	0	84517,44	317946,56

Mol komponen yang didapatkan pada Tabel 2 akan digunakan dalam perhitungan entalpi pada proses pembakaran. Dengan menggunakan fitur solver pada *Microsoft Excel*, didapatkan suhu maksimal pembakaran yaitu sebesar 1412,54°K.

Digesti atau pencernaan anaerobik adalah reaksi dan interaksi yang terjadi diantara bakteri metanogen dan non-metanogen serta bahan (biomasa) yang diumpungkan ke dalam pencerna sebagai input. Proses degradasi ini adalah proses fisiko-kimia kompleks dan proses biologis yang melibatkan berbagai faktor dan tahapan bentuk perubahan. Produk akhir biokonversi anaerob adalah gasbio, campuran metana dan karbon dioksida yang bermanfaat sebagai sumber energi terbarukan [9]. Teknologi pencernaan anaerob merupakan salah satu bagian strategi pengelolaan air limbah atau buangan industri yang berdayaguna dan efektif. Penerapan teknologi ini selain murah dan praktis untuk buangan dengan beban organik dan berat molekul tinggi, mampu mereduksi energi terkandung dalam limbah untuk pengelolaan lingkungan [10].

Dalam fermentasi anaerob terbagi menjadi empat tahapan proses penguraian, dimana setiap tahapan akan melibatkan kelompok bakteri dengan enzim yang berbeda yang akan bekerja sama antara satu kelompok dengan kelompok bakteri lainnya untuk melarutkan senyawa organik partikulat [11]. Empat tahap pada sistem anaerobik tersebut yaitu hidrolisis, asidogenesis, asetogenesis, dan metanogenesis [12]. Pada tahap metanogenesis, terbentuk metana dan karbondioksida. Metana dihasilkan dari asetat atau dari reduksi karbondioksida oleh bakteri asetotropik dan hidrogenotropik dengan menggunakan hidrogen.

Untuk mengetahui konsentrasi gas metana (CH_4) yang mengalir pada unit *flaring*, maka perlu dilakukan perhitungan jumlah gas yang terkandung di dalamnya. Reaksi yang terjadi pada unit flaring berlangsung seperti pada reaksi (1). Gas yang keluar dari unit pengolahan anaerob didominasi oleh metana (CH_4) dan karbon dioksida (CO_2). Oleh karena itu, dilakukan perhitungan jumlah masing-masing massa komponen yang dihasilkan.

Pada draft yang diterbitkan oleh RTI International pada tahun 2010 yang berjudul *GHG Emissions Estimation Methodology for Selected Biogenic Source Categories*, disebutkan bahwa kebutuhan oksigen atau oxygen demand (OD) merupakan parameter yang dapat digunakan untuk menghitung emisi atau massa CH_4 dan CO_2 yang dihasilkan suatu reaktor, baik aerob maupun anaerob [13]. WWTP PT Indolakto menghasilkan *sludge* sebagai hasil samping dari pengolahannya. *Sludge* mengandung suspensi yang telah dipisahkan dari air limbah dan mikroorganisme yang telah mati dari reaktor aerob. Sehingga, WWTP PT Indolakto memiliki unit pengolahan khusus untuk *sludge* yang juga merupakan reaktor anaerob, berupa CSTR.

Berdasarkan hasil perhitungan atau secara teoritis, konsentrasi rata-rata gas metana per harinya pada unit WWTP PT Indolakto yaitu sebesar 52%. Hal ini dapat disebabkan karena konstanta yang digunakan pada perhitungan. Konstanta ditentukan berdasarkan jenis pengolahan yang digunakan, secara aerob atau anaerob.

MCF atau faktor koreksi metana mengindikasikan fraksi dari influen OD yang terkonversikan dalam kondisi anaerobik pada unit WWTP [14], digunakan untuk perhitungan yaitu sebesar 0,8. Nilai ini digunakan berdasarkan dari IPCC 2006. Data tersebut diperoleh dari para ahli yang melakukan survei setiap 3-5 tahun. Untuk fraksi karbon, nilai yang digunakan merupakan konstanta yaitu sebesar 0,65. Untuk nilai *yield* yang digunakan yaitu sebesar 0,1. Nilai ini didapatkan dari perhitungan yang telah dilakukan oleh para ahli dari beberapa data. Angka *yield* yang kecil menunjukkan jumlah karbon yang menjadi biomassa, dimana reaktor

anaerob sendiri menghasilkan biomassa atau *sludge* yang sedikit dibandingkan dengan reaktor aerob.

Faktor konversi yang digunakan untuk menghitung massa gas metana yaitu sebesar 0,5. Nilai ini didapat dari perbandingan berat molekul CH_4 maksimal yang dapat direaksikan dengan oksigen. Faktor konversi gas metana dari oksigen didapatkan dari rumus pembakaran gas metana. Pada reaksi aerob, energi yang dihasilkan pada akhir reaksi setara dengan kebutuhan oksigen atau *oxygen demand* (OD) [15]. Teori ini juga diterapkan pada reaksi anaerob dimana energi yang dihasilkan di akhir reaksi yaitu gas metana, setara dengan OD dalam reaktor. Oleh karena pada reaktor anaerob tidak membutuhkan oksigen, maka OD pada reaktor anaerob setara dengan jumlah mol oksigen yang dibutuhkan untuk membakar gas metana (menggunakan teori kesetaraan reaktan dan produk pada reaksi). Gas metana sendiri memiliki sifat mudah terbakar. Nilai OD yang digunakan dalam perhitungan berupa COD karena laboratorium WWTP PT Indolakto tidak pernah melakukan pengukuran BOD. Faktor konversi yang digunakan untuk menghitung massa gas karbon dioksida yaitu sebesar 1,375. Nilai ini didapat dari perbandingan berat molekul CO_2 maksimal yang dapat dibentuk dari reaksi atom karbon dalam zat organik dengan oksigen.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Ilminafik, dkk. (2019), warna api pada pembakaran metana adalah biru. Semakin tinggi kandungan gas metana, semakin biru api yang dihasilkan [16]. Warna api di unit WWTP didominasi oleh warna biru. Namun, bila dibandingkan dengan literatur yang didapatkan, masih terdapat api berwarna jingga dalam jumlah yang banyak. Hal ini dapat membuktikan bahwa konsentrasi gas metana pada unit *flaring* WWTP bernilai di bawah 60%. Warna api yang tidak biru utuh disebabkan karena banyaknya gas CO_2 yang terkandung dalam gas yang dibakar pada unit *flaring*. Hal ini sesuai dengan penelitian Fairuz (2015) yang mengatakan bahwa nyala api yang berwarna biru mengindikasikan bahwa kandungan metana sangat tinggi dibandingkan dengan kandungan gas lain selain metana [17]. Selain itu dapat pula disebabkan karena pembakaran yang tidak sempurna. Ini cukup berbahaya karena hasil pembakaran akan melepas gas karbon monoksida (CO) yang berbahaya bagi lingkungan. Hal ini dapat diatasi dengan menambahkan volume gas O_2 ke dalam unit *flaring* agar semua gas metana dapat terbakar sempurna.

Jumlah mol rata-rata gas metana pada unit *flaring* per harinya berdasarkan perhitungan adalah sebesar 42258,72 gmol. Jumlah mol rata-rata gas karbon dioksida pada unit *flaring* per harinya berdasarkan perhitungan adalah sebesar 39008,05 gmol. Dari jumlah mol yang didapat, dapat digunakan untuk menghitung suhu pembakaran.

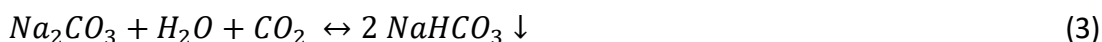
Suhu maksimal pembakaran biogas dapat dihitung berdasarkan jumlah mol dari komponen gas. Pembakaran diasumsikan sempurna, sehingga produk yang keluar adalah CO_2 dan H_2O , serta N_2 sebagai inert, CO_2 dari biogas, dan O_2 excess. Biogas diasumsikan hanya mengandung CH_4 dan CO_2 . Reaksi berlangsung secara adiabatik. Usaha atau kerja (W) pada sistem dianggap 0. Energi kinetik dan potensial dapat diabaikan. Sehingga $\Delta H_{\text{total}} = 0$. Dengan menggunakan *solver*, didapatkan suhu akhir pembakaran.

Setelah dilakukan perhitungan secara teoritis, didapatkan suhu pembakaran gas metana pada unit *flaring* adalah 1412,54°K. Tinggi rendahnya suhu pembakaran dipengaruhi oleh jumlah mol dari masing-masing komponen pada gas. Semakin tinggi jumlah mol gas metana, semakin tinggi pula suhu pembakaran yang dihasilkan. Hal ini disebabkan karena tingginya nilai kalor pada gas metana, yaitu 9.100 Kkal / m^3 (12,74 Kkal/kg) pada tekanan 1 atm

dan temperatur 15,5°C. Nilai kalor pada biogas sendiri lebih rendah dari metana murni, yaitu sebesar 4.800–6.900 Kkal/m³ (6.720–9.660 Kkal/kg). Sehingga, agar dapat menaikkan suhu pembakaran tersebut, nilai kalor pembakaran harus ditingkatkan dengan cara melakukan pemurnian gas metana yang mengarah ke unit *flaring*.

Pemurnian gas metana dapat dilakukan dengan mengurangi fraksi gas CO₂ dan H₂S [18]. Dengan turunnya kadar CO₂ akan meningkatkan kadar CH₄ yang dapat meningkatkan kualitas biogas melalui uji karakteristik api yang akan menghasilkan perubahan warna api [19]. Metode yang paling sederhana untuk mengurangi kandungan CO₂ yaitu dengan menambahkan *water scrubber*. Metode ini membutuhkan volume air yang cukup banyak dan harus diganti apabila telah mencapai titik jenuh. Reagen yang dapat ditambahkan pada *water scrubber* yaitu NaOH [20] dan Ca(OH)₂ [21]. Reaksi yang terjadi yaitu:

Dengan NaOH :



Dengan Ca(OH)₂ :



Kadar H₂S di atas 1% dapat menyebabkan korosi pada logam atau pipa dan peralatan yang digunakan. Gas H₂S dihasilkan dari asidifikasi beberapa asam amino yang mengandung sulfur. Untuk mengurangi kadar H₂S, dapat pula digunakan *water scrubber* karena gas CO₂ dan H₂S sama-sama lebih mudah larut dalam air bila dibandingkan dengan gas CH₄. Air hasil olahan WWTP dapat digunakan sebagai air pada *water scrubber*. Reagen yang dapat ditambahkan untuk menyerap gas H₂S pada *water scrubber* yaitu:

Dengan Na₂CO₃ yang dihasilkan dari penyerapan CO₂ oleh NaOH

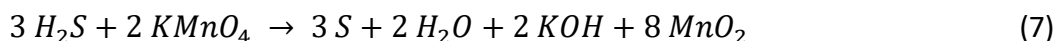


Dengan H₂O₂

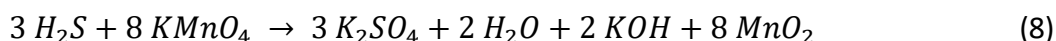


Dengan KMnO₄

Kondisi asam:



Kondisi basa:



Berdasarkan literatur yang didapat, suhu pembakaran maksimal pada gas dengan konsentrasi metana 52% adalah 1600 °K. Namun, pada perhitungan secara teoritis, suhu pembakaran tidak mencapai suhu tersebut. Hal ini disebabkan karena konstanta pada *heat capacity* gas metana hanya dapat digunakan hingga suhu 1500 °K.

Volume gas metana yang dihasilkan per harinya secara teoritis yaitu sebesar 1.050.696,4173 L. Dengan jumlah volume sebesar ini, sangat disayangkan apabila gas metana dibuang atau dibakar begitu saja tanpa dimanfaatkan kembali. Gas metana yang dihasilkan dari reaktor anaerob dapat dijadikan bahan bakar ramah lingkungan, atau yang biasa disebut biogas. Menurut website *Global Petrol Prices*, harga gas metana diperkirakan mencapai Rp20.947,00 per liter [22]. Ini berarti bahwa gas metana yang dibuang dari pembakaran unit *flaring* tiap harinya bernilai Rp22.008.927.346,22. Tingginya harga metana yang dihasilkan ini dapat menambah pemasukan atau mengalihkan penggunaan gas metana pada unit lainnya yang membutuhkan bahan bakar, seperti boiler.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Konsentrasi rata-rata gas metana per harinya yang dihasilkan dari pengolahan limbah anaerob unit WWTP PT Indolakto yaitu sebesar 52% dengan jumlah mol rata-rata gas metana pada unit *flaring* per harinya berdasarkan perhitungan adalah sebesar 42258,72 gmol dan jumlah mol rata-rata gas karbon dioksida per harinya sebesar 39008,05 gmol. Suhu pembakaran gas metana dipengaruhi oleh konsentrasi gas metana terhadap komponen gas lainnya. Semakin tinggi konsentrasi gas metana pada biogas, semakin tinggi pula suhu pembakarannya. Suhu pembakaran gas metana pada unit *flaring* adalah 1412,54°K. Warna api di unit WWTP didominasi oleh warna biru, namun masih terdapat api berwarna jingga dikarenakan konsentrasi gas metana <60% yang disebabkan karena adanya gas CO₂ sebanyak 48%.

Sebaiknya industri perlu menambahkan alat ukur *flowmeter*, *termometer*, *pressure gauge* dan *biogas analyzer* pada unit *flaring* sehingga dapat dilakukan analisis pada unit *flaring* dengan lebih akurat.

REFERENSI

- [1] P. R. Wulandari, "Perencanaan Pengolahan Air Limbah Sistem Terpusat," *J. Tek. Sipil dan Lingkungan*, vol. 2, no. 3, hal. 499–509, 2014.
- [2] A. K. Slavov, "General Characteristics and Treatment Possibilities of Dairy Wastewater – A Review," *Food Technol Biotechnol*, vol. 55, no. 1, hal. 14–28, 2017.
- [3] National Institute of Standards and Technology (NIST), "Methane." Merce on Behalf of the United State of America, United States of America, 2021. [Daring]. Tersedia pada: <https://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=74-82-8>
- [4] Pennsylvania Department of Environmental Protection (PADEP), "Environmental Health Fact Sheet Methane," 2011 [Daring]. Tersedia pada: <https://www.dep.pa.gov/Pages/default.aspx>
- [5] R. A. A. Rahma, Y. L. R. Dewi, dan P. Setyono, "Pengaruh Paparan Gas Metana (CH₄), Karbon Dioksida (CO₂), dan Hidrogen Sulfida (H₂S) Terhadap Keluhan Gangguan Pernapasan Pemulung Di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah Klotok Kota Kediri," *J. EKOSAINS*, vol. 7, no. 2, hal. 105–115, 2015.
- [6] R. A. Akbar, "Pengaruh Paparan CH₄ dan H₂S Terhadap Keluhan Gangguan Pernapasan Pemulung Di TPA Mrican Kabupaten Ponorogo," *J. Ind. Hyg. Occup. Heal.*, vol. 1, no. 1, hal. 1, 2016.
- [7] R. Andhika dan T. Agung, "Pengaruh Paparan CH₄ dan H₂S Terhadap Keluhan Gangguan

- Pernapasan Pemulung Ponorogo,” vol. 1, no. 1, hal. 1–14, 2016.
- [8] A. Rifnaputri, “Laporan Kerja Praktik : Perancangan Proses Pengolahan Limbah Industri Susu pada Unit Aerobik,” Yogyakarta, 2022.
- [9] A. Pangastuti dan E. Mahajoeno, “Karakteristik Metanogen Selama Proses Fermentasi Anaerob Biomassa Limbah Makanan,” *J. Ekosains*, vol. V, no. 1, hal. 44–58, 2013.
- [10] G. Bitton, *Wastewater Microbiology*, 2nd ed. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2005.
- [11] N. Harun, W. H. W. Ibrahim, M. F. Lukman, M. H. M. Yusoff, N. F. S. Daud, dan N. Zainol, “Process simulation of anaerobic digestion process for municipal solid waste treatment,” *Green Energy Technol.*, vol. 0, no. 9789811081286, hal. 71–83, 2018
- [12] B. S. Zeb, Q. Mahmood, dan A. Pervez, “Characteristics and Performance of Anaerobic Wastewater Treatment (A review),” *J. Chem. Soc. Pakistan*, vol. 35, no. 1, hal. 217–232, 2013.
- [13] RTI International, “Greenhouse Gas Emissions Estimation Methodologies for Biogenic Emissions from Selected Source Categories : Solid Waste Disposal Wastewater Treatment Ethanol Fermentation,” 2010.
- [14] I. R. Hutagalung dan T. Matsumoto, “Life Cycle Assessment Of Domestic Wastewater Treatment In Medan City, Indonesia,” *J. Community Based Environ. Eng. Manag.*, vol. 4, no. 2, hal. 85–98, Nov 2020.
- [15] D. W. Hamilton, “Anaerobic Digestion of Animal Manures: Methane Production Potential of Waste Materials,” *Bae 1762*, no. 2, hal. 4–7, 2012.
- [16] N. Ilminnafik, D. L. Setiyawan, H. Sutjahjono, A. Rofiq, dan A. S. Hadi, “Flame Characteristics of Biogas From Coffee Waste Materials,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1175, no. 1, Jul 2019, [Daring]. Tersedia pada: <https://repository.unej.ac.id/xmlui/handle/123456789/91320>
- [17] A. Fairuz, A. Haryanto, dan A. Tusi, “Pengaruh Penambahan Ampas Kelapa Dan Kulit Pisang Terhadap Produksi Biogas dari Kotoran Sapi,” *Tek. Pertan. Lampung*, vol. 4, no. 2, hal. 91–98, 2015.
- [18] A. Wresta dan A. Saepudin, “Analysis of Product and Temperature of Biogas Combustion in Various Air Biogas Equivalence Ratio and Methane Content,” *Indones. J. Chem*, vol. 18, no. 2, hal. 211–221, 2018
- [19] A. I. Sya’roni, “Analisis Warna Api dan Suhu Pembakaran Biogas Limbah Pasar yang Sudah Dipurifikasi dengan Kalium Hidroksida,” Universitas Jember, 2018.
- [20] R. Sutanto dkk., “Analisis Pemakaian Bahan Bakar Biogas Termurnikan pada Unjuk Kerja Motor Bakar,” *Din. Tek. Mesin*, vol. 7, no. 1, hal. 1–6, 2017.
- [21] N. Nadliriyah dan Triwikantoro, “Pemurnian Produk Biogas dengan Metode Absorpsi Menggunakan Larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$,” *J. Sains Dan Seni Pomits*, vol. 3, no. 2, hal. 2337–3520, 2014.
- [22] Global Petrol Price, “Methane Prices per Litre,” 2022, [Daring]. Tersedia pada: https://www.globalpetrolprices.com/methane_prices/