

EFEKTIVITAS REDUKSI GAS METANA (CH₄) LIMBAH POME KELAPA SAWIT DENGAN METODE CONTINUOUSLY STIRRED TANK REACTOR (CSTR) DAN EFFLUENT POND

Sugiyatno^{1*}, Binal amin², Sofia Anita³

¹Program Pascasarjana Ilmu Lingkungan Universitas Riau, Jl. Pattimura No.9 Gedung A Gobah, Pekanbaru, Riau, Indonesia

²Fakultas Perikanan dan Kelautan Universitas Riau, Kampus Bina Widya KM. 12,5, Simpang Baru, Kecamatan Tampan, Kota Pekanbaru, Riau, Indonesia

³Fakultas FMIPA, Kampus Bina Widya KM. 12,5, Simpang Baru, Kecamatan Tampan, Kota Pekanbaru, Riau, Indonesia

*Correspondent Email: sugiyatno7800@grad.unri.ac.id

Diterima: 22 Agustus 2025 | Disetujui: 29 September 2025 | Diterbitkan: 30 September 2025

ABSTRACT

Palm oil plantations are a significant sector in Indonesia's economy, with crude palm oil (CPO) production reaching over 43 million tons in 2020. However, this increased production also generates large amounts of liquid waste known as Palm Oil Mill Effluent (POME). POME contains high concentrations of organic substances that can pollute the environment and serve as a source of greenhouse gas emissions, particularly methane (CH₄), which has a global warming potential 25 times greater than carbon dioxide (CO₂). This study aims to evaluate the existing conditions of liquid waste treatment in the effluent pond system, examine the effect of mixing variations on methane production in the Continuously Stirred Tank Reactor (CSTR) system, compare the methane emission reduction efficiency between the two systems, and analyze the social and economic impacts of implementing these waste treatment technologies. The research was conducted at the Sei Pagar Palm Oil Mill owned by Perkebunan Nusantara V in Kampar Regency, Riau Province (coordinates N 00°19'35", E 101°21'9"), from July to September 2023. The method used was quantitative experimental, involving sampling of liquid waste (POME) analyzed through both CSTR and effluent pond systems. Methane reduction was measured using a Biogas 5000 Analyzer, with supporting data obtained from relevant literature. The results indicate that sludge mixing duration has a significant effect on methane (CH₄) production. A mixing duration of 5 hours with a pump capacity of 20 m³/hour resulted in oil content in the reactor between 0.03% and 0.06% and higher methane production compared to mixing durations of 2, 3, and 4 hours. The CSTR system also demonstrated higher methane production efficiency than the effluent pond system, although optimal mixing still needs improvement. Waste treatment using CSTR technology positively contributes to reducing greenhouse gas emissions and provides economic and social benefits to the surrounding community. The implementation of this technology is recommended as a sustainable strategy to mitigate the negative impacts of the palm oil industry while enhancing renewable energy value.

Keywords: POME; biogas; CSTR; methane; palm oil; renewable energy



PENDAHULUAN

Perkebunan kelapa sawit merupakan salah satu sektor strategis dalam perekonomian Indonesia. Pada tahun 2020, Indonesia tercatat sebagai produsen minyak kelapa sawit terbesar di dunia, dengan produksi mencapai lebih dari 43 juta ton *crude palm oil* (CPO) (Direktorat Jenderal Perkebunan, 2021). Namun, seiring dengan meningkatnya produksi dan ekspansi industri ini, timbul pula permasalahan lingkungan yang signifikan, terutama dari sisi pengelolaan limbah cair hasil proses pengolahan tandan buah segar (TBS), yang dikenal sebagai *Palm Oil Mill Effluent* (POME).

POME mengandung senyawa organik dalam konsentrasi tinggi, termasuk Chemical Oxygen Demand (COD), Biological Oxygen Demand (BOD), serta minyak dan lemak. Berdasarkan studi oleh Zulkifli (2016), kadar COD dalam POME dapat mencapai 44.300–102.696 mg/L, jauh di atas ambang batas baku mutu lingkungan yang ditetapkan pemerintah, yaitu maksimal 350 mg/L (Permen LH No. 5/2014). Selain mencemari lingkungan perairan, limbah ini juga menjadi sumber signifikan emisi gas rumah kaca, khususnya metana (CH_4), yang terbentuk dari proses dekomposisi anaerobik bahan organik dalam POME.

Untuk menekan emisi ini, dua sistem pengolahan limbah POME yang paling umum digunakan adalah sistem kolam terbuka (*effluent pond*) dan reaktor anaerobik tertutup (*Continuous Stirred Tank Reactor/CSTR*). *Effluent pond* merupakan metode konvensional yang terdiri dari serangkaian kolam, seperti fat pit, cooling pond, anaerobic pond, *facultative pond* dan polishing pond yang memanfaatkan proses biodegradasi alami. Meskipun murah dan mudah dioperasikan, metode ini memiliki efisiensi reduksi emisi yang rendah, waktu retensi yang lama (hingga 120 hari), serta membutuhkan lahan yang luas (Kementerian Lingkungan Hidup, 2013).

Sebaliknya, CSTR merupakan teknologi reaktor anaerobik yang beroperasi secara tertutup dengan pengadukan kontinyu, sehingga mampu mengoptimalkan konversi bahan organik menjadi biogas dengan efisiensi lebih tinggi. Menurut Tjahjono *et al.* (2023), sistem CSTR dapat menghasilkan biogas dengan kandungan metana mencapai 65–70%, serta mampu mereduksi COD hingga 91% dalam waktu tinggal yang lebih singkat dibanding sistem pond. Penelitian lain oleh Lubis *et al.*, (2021) menyatakan bahwa CSTR menghasilkan metana sekitar 0,3–0,4 m^3/kg VS (volatile solids), lebih tinggi dibanding sistem kolam terbuka yang hanya sekitar 0,1–0,2 m^3/kg VS.

Namun, di lapangan, seperti yang terjadi di Pabrik Kelapa Sawit (PKS) Sei Pagar milik PTPN V, sistem CSTR yang diterapkan masih menunjukkan efisiensi produksi metana di bawah target, yaitu hanya 50–59% dari target sebesar 65% (Data Operasional PKS Sei Pagar, 2023). Hal ini menunjukkan perlunya optimalisasi, baik dari sisi teknis seperti pencampuran dan waktu tinggal, maupun dari segi karakteristik limbah masukan.

Di sisi lain, pemanfaatan POME sebagai sumber energi terbarukan dapat memberikan nilai tambah ekonomi dan sosial. Menurut Direktorat EBTKE Kementerian ESDM (2018), potensi energi listrik dari pemanfaatan limbah POME di Indonesia mencapai 12.654 MW, dengan dominasi di Pulau Sumatera dan Kalimantan. Biogas yang



dihasilkan dari pengolahan CSTR dapat digunakan untuk pembangkit listrik (PLTBg), substitusi bahan bakar boiler, maupun dijual ke jaringan listrik PLN. Selain itu, studi oleh Noviyanti (2018) menunjukkan bahwa penerapan teknologi pengolahan limbah yang ramah lingkungan dapat meningkatkan citra perusahaan, mengurangi konflik sosial, serta memberikan manfaat ekonomi bagi masyarakat sekitar.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini dilakukan untuk membandingkan efektivitas reduksi gas metana dari POME dengan menggunakan dua sistem pengolahan limbah, yaitu *effluent pond* dan CSTR, di PKS Sei Pagar. Penelitian ini juga bertujuan untuk mengevaluasi dampak sosial dan ekonomi dari penerapan teknologi tersebut terhadap masyarakat di sekitar pabrik, serta memberikan rekomendasi pengelolaan limbah yang berkelanjutan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di unit Perkebunan Nusantara V yakni Pabrik Kelapa Sawit Sei Pagar, Kabupaten Kampar, Provinsi Riau yang berada di titik koordinat N 0° 19' 35", E 101° 21' 9". Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juli sampai dengan September 2023.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

- Limbah cair kelapa sawit (POME) dari sistem *Effluent pond* dan CSTR.
- Data operasional pabrik dan data hasil analisis kualitas limbah.

Adapun alat yang digunakan meliputi:

- Biogas 5000 Analyzer untuk analisa gas metana (CH₄)
- Termometer digital untuk pengukuran suhu
- pH meter sesuai SNI 6989.59:2008
- Flow meter untuk volume aliran POME

Alat pengaduk, pompa 20 m³/jam, kamera, serta perangkat lunak MS Excel dan SPSS untuk pengolahan data.

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif eksperimental. Adapun aspek penelitian kuantitatif pada penelitian ini adalah pengumpulan data primer dari hasil analisis laboratorium mengenai pengukuran reduksi gas metana limbah cair dengan metode *Continuous Stirred Tank Reactor* (CSTR) dan *effluent pond* serta berdasarkan referensi-referensi jurnal, tesis dan buku, mengenai reduksi gas metana (CH₄), Pengambilan sampel limbah cair (POME) di PKS sei Pagar PTPN V dan dilanjutkan dengan analisis gas metana menggunakan alat Biogas 5000 Analyzer.

Pengambilan sampel dilakukan pada setiap kolam yang terdapat di Pabrik Kelapa Sawit Sei Pagar PTPN V pada *Continuous Stirred Tank Reactor* (CSTR) *cofiring* Boiler dan Pabrik Kelapa Sawit di Sei Pagar pada *Effluent Pond*. Dalam Penelitian ini penulis melakukan pengulangan pengambilan sampel yang dilakukan 3 kali pengulangan pada titik sampling kolam inlet dan outlet. Pengambilan sampel sebanyak 50 ml dari titik poin sample, sebanyak



3 botol kemudian dihomogenkan. Pengambilan sampel dikolam (*Effluent pond*) dilakukan pada setiap kolam dan sampel pada pengolahan limbah menggunakan *Continuous Stirred Tank Reactor* (CSTR).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Reduksi Gas Metana (CH_4) Pada Pengolahan Limbah Cair *Effluent Pond*

Kapasitas Terpasang Pabrik Kelapa Sawit (PKS) Unit Sei Pagar PT. Perkebunan Nusantara V yakni 30 Ton TBS/Jam dengan limbah cair yang dihasilkan sekitar 300 – 400 Ton Pome /hari. PKS Unit Sei Pagar Rata-rata mengolah 25 hari dalam sebulan, sehingga menghasilkan limbah cair 7500-10.000 Ton Pome/Bulan.

Kualitas Air Limbah Pabrik COD, TSS, pH dan Suhu.

Dilakukan pengujian sampel air limbah Pabrik Kelapa Sawit Sei Pagar selama empat hari dengan hasil sebagaimana terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Kualitas Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit Sei Pagar

Parameter		COD (mg/L)	TSS (mg/L)	pH	Suhu (°C)	Baku Mutu (Pergub N0. 53 Tahun 2007)		
Kolam	Hari					COD	TSS	pH
Kolam 1	1	41500	13200	4,06	49,6			
	2	41900	13500	4,15	41,6			
	3	46600	19900	4,71	43,1			
	4	47900	14100	4,79	44,2			
Kolam 2	1	23300	32400	7,17	34,6			
	2	18900	17100	7,20	30,6			
	3	14100	9800	7,08	33,5			
	4	10800	1300	7,01	32,5			
Kolam 3	1	2200	1800	7,42	34,4			
	2	2300	3300	7,56	31,7			
	3	2200	1500	7,60	36,3			
	4	1600	2400	7,36	35,4			
Kolam 4	1	800	210	7,01	37,8			
	2	1000	660	7,17	37,4	< 10.000 mg/L	< 12.500 mg/L	6 - 9
	3	800	540	7,08	37,0			
	4	800	490	7,42	37,0			

Pengolahan limbah cair kelapa sawit (POME) di PKS Sei Pagar menggunakan sistem *effluent pond* menunjukkan tren penurunan parameter pencemar secara signifikan. Berdasarkan hasil pengukuran laboratorium, terjadi penurunan konsentrasi COD dari rata-rata 44.400 mg/L pada Kolam 1 menjadi rata-rata di angka 800 mg/L di Kolam 4, dengan rata-rata efisiensi penurunan sebesar 77,45%. Penurunan tersebut mencerminkan bahwa proses



dekomposisi bahan organik oleh mikroorganisme anaerob berjalan dengan baik sepanjang jalur kolam. Peningkatan nilai pH dari 4,06 menjadi 7,42 juga mengindikasikan bahwa reaksi fermentasi berlangsung optimal dan mendekati kondisi netral pada kolam akhir. Peningkatan nilai temperatur pada kolam 4 diakibatkan komposisi limbah yang sudah terpisah antara endapan dan cairan sehingga terjadi peningkatan, selain itu kondisi buangan yang terlalu dekat dengan pompa transfer limbah dan pipa air panas. Berdasarkan peraturan Gubernur No. 53 Tahun 2007 baku mutu nilai COD <10.000 mg/L, TSS <12.500 mg/L dan pH 6-9. Analisa kualitas pada kolam 4 di PKS Sei Pagar masih dibawah ambang batas baku mutu untuk di alirkan di *land application*.

Hasil Perhitungan Pengujian Reduksi CH₄ Limbah Cair *Effluent pond* COD_{in}, COD_{out}, COD_{removal}, COD Effisiensi dan Nilai CH₄

Perhitungan Nilai COD *removal*, COD efisiensi dan Nilai CH₄ dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Pengujian nilai CH₄ Limbah Cair pada *Effluent Pond*

Kolam	Hari	COD _{in}	COD _{out}	Aliran Limbah	COD _{removal} (mg/L)	COD _{removal} (Kg/Hari)	COD _{eff} (%)	Nilai CH ₄ (Nm ³ /hari)	% CH ₄
		a	b	c	d= (a-b)*c	e= d/1.000.000	f= ((a-b)/a)*100	g=e*0,35	
Kolam 1	1	41500	23300	450	8190000	8,19	43,86	2,87	0,007
	2	41900	18900	450	10350000	10,35	54,89	3,62	0,009
	3	46600	14100	450	14625000	14,625	69,74	5,12	0,011
	4	47900	10800	450	16695000	16,695	77,45	5,84	0,012
Kolam 2	1	23300	2200	450	9495000	9,495	90,56	3,32	0,014
	2	18900	2300	450	7470000	7,47	87,83	2,61	0,014
	3	14100	2200	450	5355000	5,355	84,40	1,87	0,013
	4	10800	1600	450	4140000	4,14	85,19	1,45	0,013
Kolam 3	1	2200	800	450	630000	0,63	63,64	0,22	0,010
	2	2300	1000	450	585000	0,585	56,52	0,20	0,009
	3	2200	800	450	630000	0,63	63,64	0,22	0,010
	4	1600	800	450	360000	0,36	50,00	0,13	0,008
Kolam 4	1	800	200	450	270000	0,27	75,00	0,09	0,012
	2	1000	600	450	180000	0,18	40,00	0,06	0,006
	3	800	300	450	225000	0,225	62,50	0,08	0,010
	4	800	100	450	315000	0,315	87,50	0,11	0,014

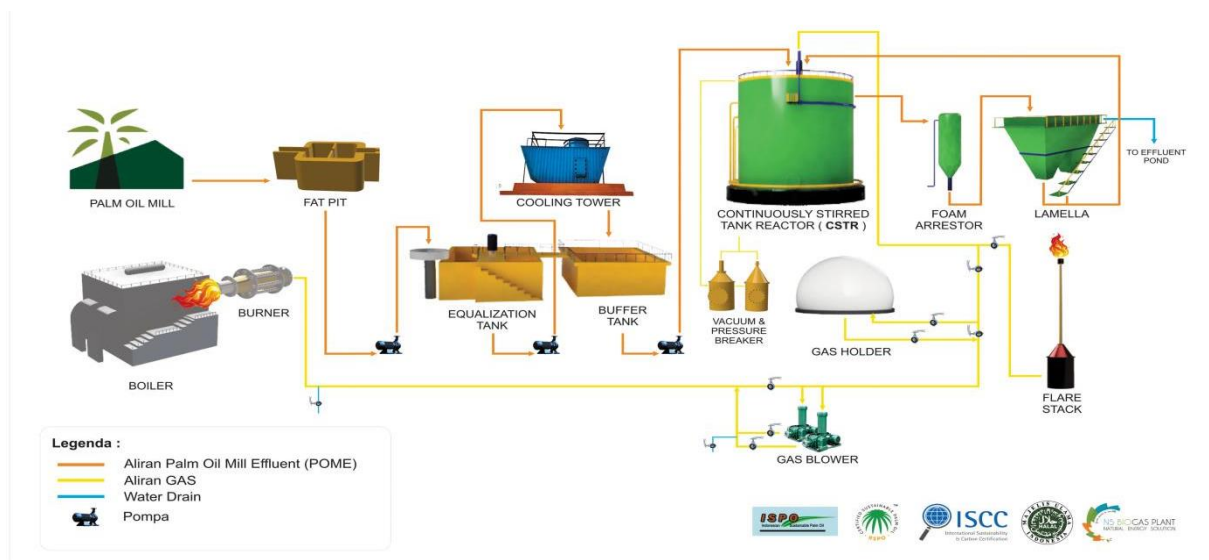
Pada Tabel 2 di atas dapat kita lihat perhitungan nilai COD, nilai CH₄, dan persentase CH₄ terdapat potensi adanya gas metana yang terkandung dalam kolam limbah, pada kolam 1 dan kolam 2 masih terdapat potensi gas metana yang dapat diolah. Data tertinggi pada kolam 1 pengujian hari ketiga 5,12 Nm³/hari dan hari ke empat sebesar 5,84 Nm³/hari. Dilihat dari



hasil pengujian tersebut rata-rata terjadi penurunan nilai potensi gas metana dari kolam 1 sampai dengan kolam 4. COD (*Chemical Oxygen Demand*) adalah parameter yang menunjukkan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi semua bahan organik dalam sampel air. Semakin tinggi nilai COD, semakin banyak bahan organik yang terkandung dalam limbah. Sedangkan COD Removal merupakan persentase penurunan nilai COD setelah proses pengolahan. Semakin tinggi persentase COD removal, semakin efektif proses pengolahan dalam mengurangi beban organik. Efisiensi COD merupakan ukuran keberhasilan suatu proses pengolahan dalam menghilangkan bahan organik. Limbah POME memiliki potensi yang sangat besar untuk mencemari lingkungan jika tidak dikelola dengan baik. Oleh karena itu, perlu adanya upaya yang serius dari semua pihak untuk mengelola limbah POME secara berkelanjutan. Dengan pengelolaan yang tepat, limbah POME dapat diubah menjadi sumber daya yang bermanfaat, seperti biogas dan pupuk organik.

Menganalisis Efektifitas Pengujian Pencampuran Limbah POME.

Berikut Flow proses limbah POME pada instalasi biogas dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Flow Proses Biodigester PKS Sei Pagar

Sampel limbah cair yang diambil di Pabrik Kelapa Sawit Unit Sei Pagar dilakukan selama sebelas hari dari tanggal 10 September 2023 sampai dengan 22 September 2023. Pengambilan sampel dilakukan di fatpit tank, Buffer tank dan Reaktor tank. Pengukuran sampel diambil dan dilakukan metode pengukuran oil content, COD, TSS dan potensi gas Methan setiap titik sample yang diambil.

Dalam tahap ini, dilakukan pengujian untuk mengevaluasi efektivitas pencampuran sludge di dalam reaktor *Continuous Settling Tank Reactor* (CSTR). Pengujian dilakukan dengan beberapa variasi waktu pencampuran, yaitu selama 2 jam, 3 jam, 4 jam, dan 5 jam.



Setiap perlakuan dilaksanakan menggunakan pompa dengan kapasitas aliran sebesar 20 m³/jam. Proses ini bertujuan untuk memahami pengaruh durasi pencampuran terhadap homogenitas sludge dan efisiensi pengendapan di dalam reaktor CSTR, sehingga hasilnya dapat memberikan wawasan mengenai optimalisasi produksi gas metana (CH₄) dalam sistem tersebut.

Tabel 3. Pengujian pencampuran sludge

Tanggal	Fat Pit				Buffer Tank				Reaktor				
	Oil Content (%)				COD	TSS	Oil Content	COD	TSS	Oil Content	COD	TSS	CH ₄
	mix 2jam	mix 3jam	mix 4jam	mix 5jam	(ppm)	(ppm)		(ppm)	(ppm)		(ppm)	(%)	(ppm)
11/09/2023	0.46	-	-	-	53843	19600	0,67	44100	24400	0,20	23400	10400	57,4
12/09/2023	0.57	-	-	-	50939	26400	0,49	42710	22000	0,19	23010	12800	55,8
13/09/2023	0.93	-	-	-	56215	34000	0,37	42130	18400	0,13	23012	18000	51,9
14/09/2023	-	1.17	-	-	56280	34400	0,67	44100	24400	0,16	21001	12400	56,6
15/09/2023	-	1.22	-	-	96340	33600	0,54	59653	20400	0,16	21081	12800	56,4
16/09/2023	-	1.38	-	-	55015	38000	0,60	42140	18000	0,19	21220	13200	56,3
18/09/2023	-	-	1.86	-	51020	48400	0,97	27363	20800	0,26	16786	19200	63,9
19/09/2023	-	-	1.57	-	86060	62800	1,33	28835	38800	0,16	17745	15600	60,7
21/09/2023				0,93	55003	37600	0,64	50556	20400	0,03	26690	18000	64,4
22/09/2023				0,83	56223	34000	0,74	53410	30400	0,06	20322	17600	63,9
23/09/2023				0,87	52940	37600	0,69	45697	24400	0,03	22406	15200	66,6

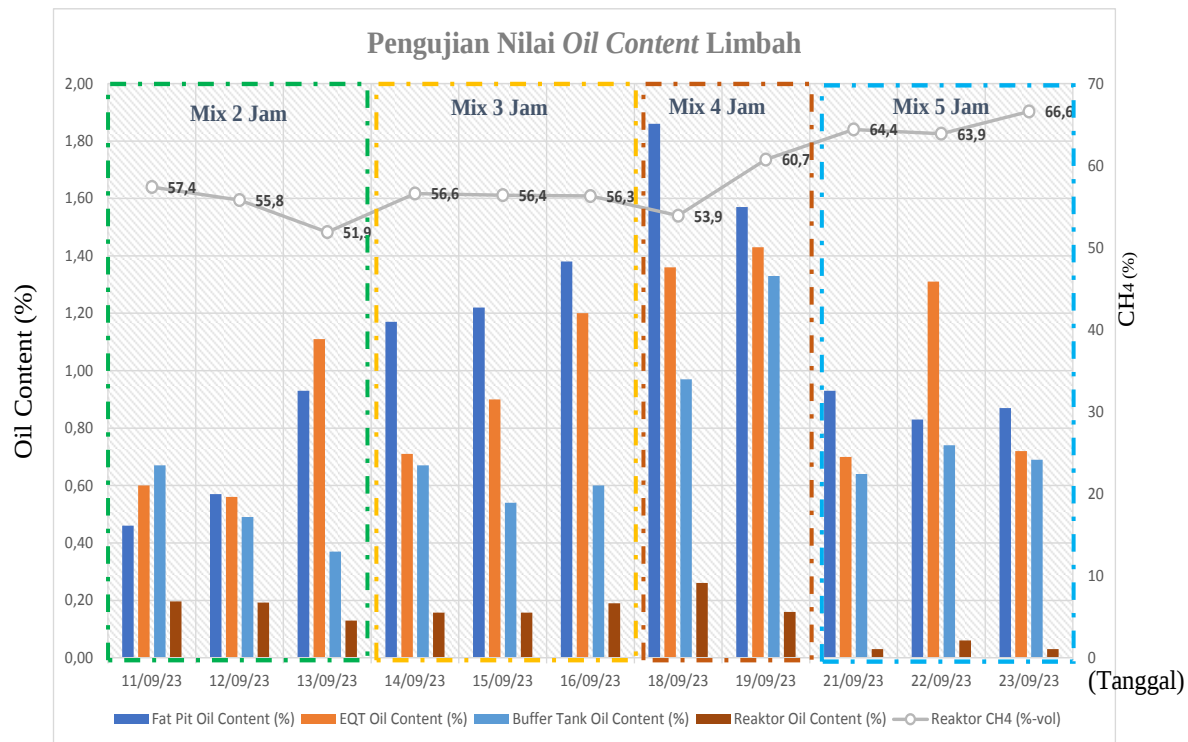
Berdasarkan pada Tabel 3 hasil pengujian menunjukkan analisa pencampuran selama 5 jam dengan nilai *oil content* pada buffer tank rata-rata 0,60%-0,70% dan nilai *oil content* pada Reaktor rata-rata 0,03%-0,06% menghasilkan nilai metan (CH₄) lebih tinggi dari pencampuran sludge selama 2 jam, 3 jam dan 4 jam.

Analisa Kandungan Minyak (*Oil Content*)

Pengujian Nilai *Oil Content* atau kandungan minyak pada limbah bertujuan untuk menganalisa mutu limbah yang diolah pada *cofiring* biogas, hal ini untuk melihat seberapa besar pengaruh kandungan minyak dalam limbah terhadap produksi gas metana di reaktor. Pengujian kandungan minyak limbah dapat dilihat pada Gambar 2.

Berdasarkan data lapangan, diketahui bahwa pencampuran selama 5 jam menghasilkan produksi metana tertinggi sebesar 64,97% (volume CH₄), sedangkan pada pencampuran 2 jam hanya sebesar 55,03%. Selain itu, kandungan minyak (*oil content*) di buffer tank sebelum masuk ke reaktor berkisar antara 0,60%–0,70%, dan setelah proses CSTR turun menjadi 0,03%–0,06%. Hal ini menunjukkan adanya efisiensi konversi bahan organik (khususnya fraksi minyak) menjadi gas metana.





Gambar 2. Pengujian Kandungan *Oil Content*

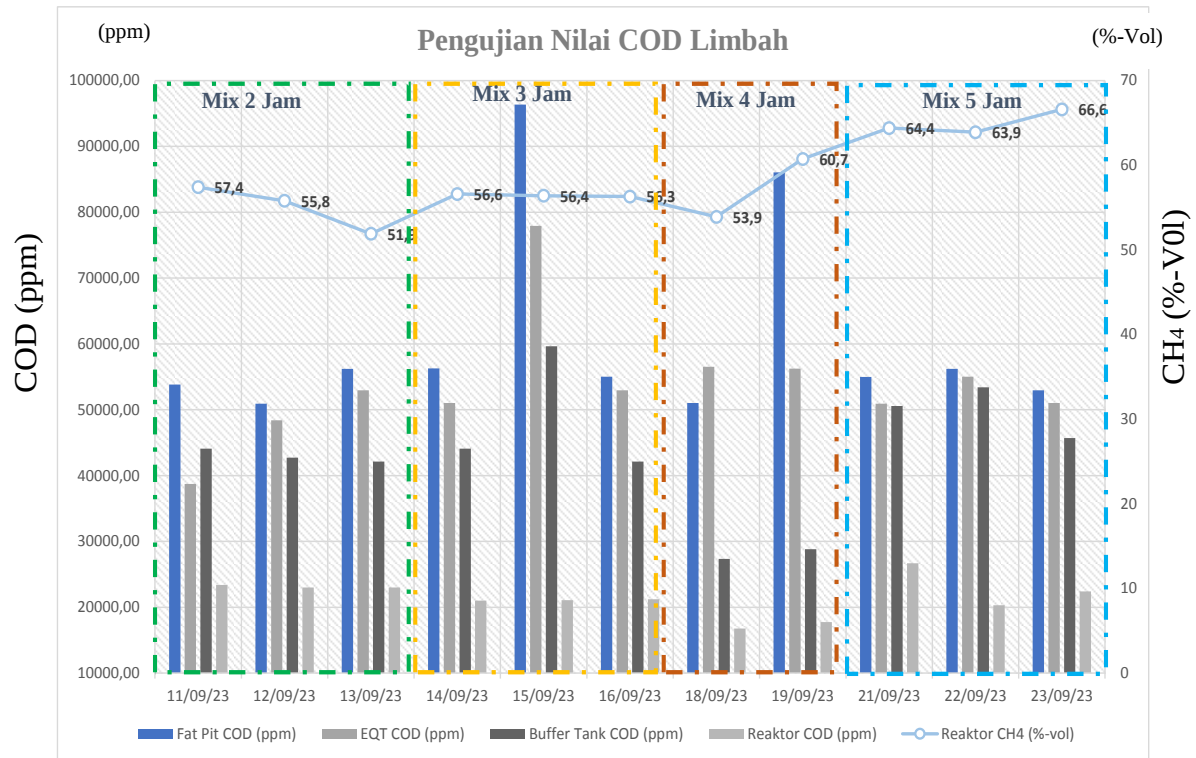
Semakin tinggi nilai *Oil Content*, semakin banyak kandungan minyak dalam limbah. terdapat korelasi negatif antara nilai metana dengan nilai *oil content* pada *reaktor*, semakin kecil kandungan minyak (*oil content*) maka semakin tinggi metana yang dihasilkan. Nilai *Oil Content* dapat memberikan indikasi potensi produksi gas metana, namun hubungannya tidak selalu linear dan sederhana. Gas metana dihasilkan dari proses penguraian bahan organik oleh bakteri metanogen dalam kondisi anaerob (tanpa oksigen).

Analisa Kandungan COD (*Chemical Oxygen Demand*)

Pengujian Chemical Oxygen Demand (COD) untuk melihat ukuran konsentrasi bahan organik yang dapat dioksidasi dalam limbah cair. Kandungan COD pada limbah dapat mempengaruhi produksi gas metana pada *reaktor*. Gambar 3 pengujian nilai COD pada limbah POME:

Berdasarkan Gambar 3 menunjukkan adanya tren peningkatan nilai COD pada beberapa sampel seiring dengan bertambahnya waktu pencampuran. Pada grafik juga terlihat nilai Chemical Oxygen Demand (COD) atau kebutuhan oksigen kimiawi dari berbagai sampel limbah pada waktu pencampuran yang berbeda. Peningkatan nilai COD pada sampel menunjukkan potensi peningkatan produksi gas metana. Sampel dengan nilai COD tertinggi cenderung memiliki potensi produksi metana yang lebih tinggi.





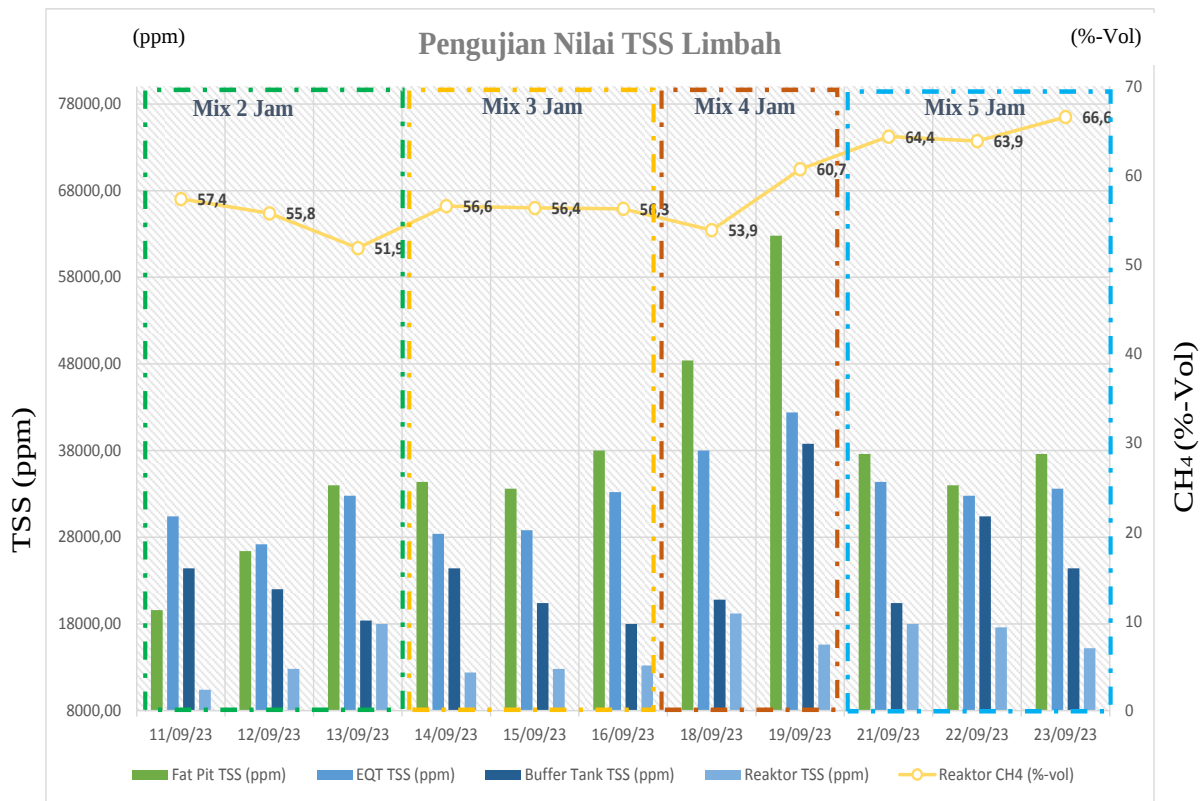
Gambar 3. Pengujian Nilai COD Limbah

Analisa Kandungan TSS (*Total Suspended Solids*)

TSS (*Total Suspended Solids*) merupakan ukuran jumlah total padatan yang tersuspensi dalam air. Padatan ini bisa berupa bahan organik (seperti selulosa, lignin) maupun anorganik (seperti tanah liat, pasir). Pengujian nilai TSS ini melihat seberapa besar pengaruhnya terhadap produksi gas metana di reaktor. Hasil pengujian TSS dapat dilihat pada Gambar 4.

Pada Gambar 4 nilai TSS dapat memberikan indikasi potensi produksi gas metana, namun hubungannya tidak selalu linear. Pada proses pencampuran limbah selama 5 Jam nilai TSS pada *fat pit tank*, *EQT Tank*, *Buffer Tank* dan *reaktor* cenderung mengalami penurunan. TSS (*Total Suspended Solids*) adalah ukuran jumlah total padatan yang tersuspensi dalam air. Padatan ini bisa berupa bahan organik (seperti selulosa, lignin) maupun anorganik seperti tanah liat, logam, pasir dan lumpur (Valentino *et al*, 2018). Nilai TSS yang optimal akan memaksimalkan produksi gas metana tanpa menghambat proses. Nilai TSS yang terlalu tinggi dapat menyebabkan pembentukan endapan yang menghambat aliran dan transfer massa, sedangkan nilai TSS yang terlalu rendah dapat mengurangi ketersediaan substrat. TSS merupakan salah satu parameter yang perlu diperhatikan karena dapat mempengaruhi proses produksi biogas dalam digester. Semakin tinggi nilai TSS maka bahan organik membutuhkan lebih banyak oksigen untuk terdegradasi, dengan kata lain sulit untuk didegradasi (Valentino, *et al*, 2018).





Gambar 4. Pengujian Nilai TSS Limbah

Hasil Perhitungan Uji Anova Satu Arah Perbandingan Nilai Gas Metana (CH_4) Pada Tahapan Pengujian Pengolahan di *Continuous Stirred Tank Reactor* (CSTR)

Uji Anova (*Analysis of Variance*) adalah sebuah metode statistik yang digunakan untuk membandingkan rata-rata populasi dari dua kelompok atau lebih. Metode ini berfungsi untuk menentukan apakah ada perbedaan yang signifikan antara rata-rata kelompok-kelompok tersebut berdasarkan data yang diuji. Pengujian pencampuran untuk melihat pengaruh produksi metana di pengolahan sistim CSTR dengan durasi 2 jam, 3 jam, 4 jam dan 5 jam Tabel 4 menunjukkan data pengujian pencampuran sesuai lamanya waktu pencampuran.

Pengolahan data menggunakan uji ANOVA one-way (satu arah) dengan hasil nilai F hitung sebesar 17,94495, nilai P-Value sebesar 0,001148 dan F tabel 4,346831. Nilai α sebesar 0,001148 lebih kecil 0,05 yang menyatakan ada perbedaan signifikan dari pengujian. Dengan Uji Hipotesis H1 diterima dan H0 ditolak dimana nilai F Hitung lebih besar dari nilai F tabel, uji ini menyatakan ada perbedaan yang signifikan dari proses variasi pencampuran.



Tabel 4. Produksi Gas Metan CH_4 Terhadap Durasi Pengujian

Produksi Gas Metan dari Pengujian Pencampuran (%-Vol)				
No	Uji 2 Jam	Uji 3 Jam	Uji 4 Jam	Uji 5 Jam
1	57,4	56,6	63,9	64,4
2	55,8	56,4	60,7	63,9
3	51,9	56,3		66,6

Tabel 4. Hasil Uji Anova Satu Arah

SUMMARY

Groups	Count	Sum	Average	Variance
Uji 2 Jam	3	165,1	55,03	8,003333
Uji 3 Jam	3	169,3	56,43	0,023333
Uji 4 Jam	2	124,64	62,32	4,992800
Uji 5 Jam	3	194,9	64,97	2,063333

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	$\alpha < 0,05$	F crit
Between Groups	193,5963	3	64,5321	17,94495	0,001148	4,346831
Within Groups	25,1728	7	3,596114			
Total	218,7691	10				

Perbandingan Efisiensi Reduksi Gas Metana (CH_4) Pengolahan Limbah Cair *Effluent pond* dan *Continuous Stirred Tank Reactor* (CSTR)

Pengujian ini bertujuan untuk membandingkan efisiensi reduksi gas metana (CH_4) yang dihasilkan dari pengolahan limbah cair menggunakan dua teknologi berbeda, yaitu *Effluent pond* dan *Continuous Stirred Tank Reactor* (CSTR). Proses analisis dilakukan dengan mengevaluasi output limbah cair yang dihasilkan dari kolam effluent (*Effluent Pond*) dan membandingkannya dengan output limbah cair yang dihasilkan dari pengolahan menggunakan CSTR. Perbandingan ini memberikan gambaran mengenai seberapa efektif masing-masing metode dalam mengurangi kadar gas metana, yang gas metana berdasarkan pengolahan limbah cair pada kedua sistem ini dapat dilihat pada Tabel 6.

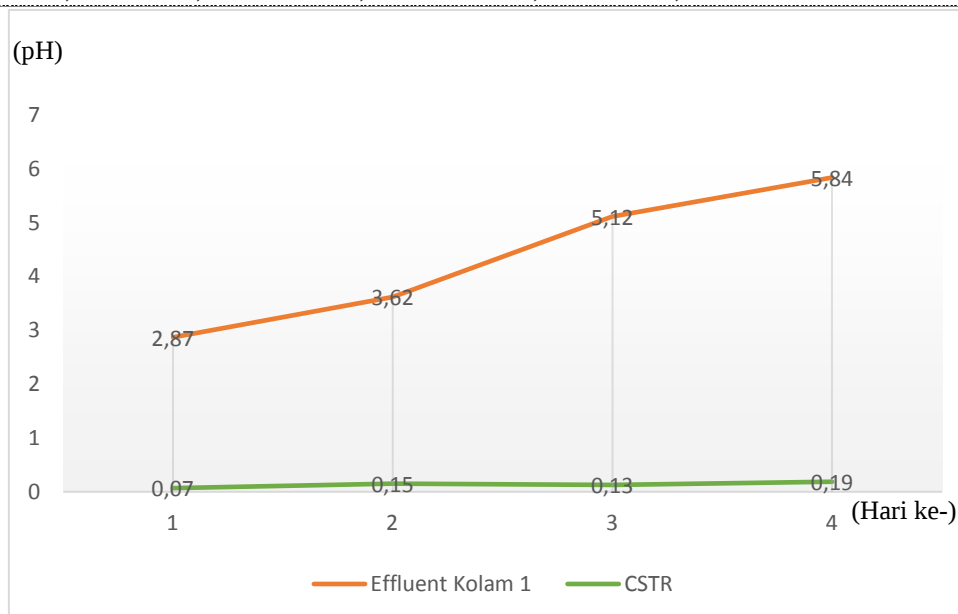
Pada Gambar 5 terdapat tren peningkatan produksi gas metana dari kolam effluent dari hari I ke hari 4, Tren peningkatan produksi gas metana dari kolam 1 dari hari ke hari, mengindikasikan adanya aktivitas mikroba yang aktif mengurai bahan organik dalam limbah. Produksi gas metana di reaktor relatif stabil. Ini menunjukkan bahwa proses reduksi di dalam reaktor berjalan cukup konsisten. Nilai Gap atau selisih yang positif dan cenderung meningkat mengindikasikan bahwa reaktor cukup efektif dalam mereduksi gas metana. Semakin besar nilai Gap, semakin besar pula jumlah gas metana yang berhasil direduksi oleh reaktor. Persentase reduksi gas metana pada *effluent pond* lebih tinggi 1%, besaran gap tidak terlalu



signifikan terhadap sistem CSTR dengan persentase 97%. Namun di sisi lain reduksi CSTR gas metana dimanfaatkan untuk pembakaran pada boiler sebagai penghasil listrik tenaga uap.

Tabel 5. Perbandingan Nilai Reduksi Gas Metana (CH_4)

Hari ke-	Output Nilai CH_4 ($Nm^3/Hari$)			Reduksi CH_4		% Reduksi Effluent Pond	% Reduksi CSTR
	Effluent Kolam 1	Effluent Kolam 4	CSTR	Effluent Pond	Reduksi CH_4 CSTR		
1	2,87	0,09	0,07	2,78	2,80	97%	98%
2	3,62	0,06	0,15	3,56	3,47	98%	96%
3	5,12	0,08	0,13	5,04	4,99	98%	97%
4	5,84	0,11	0,19	5,73	5,65	98%	97%
Rata-Rata	4,36	0,09	0,14	4,28	4,23	98%	97%



Gambar 5. Perbandingan Nilai Reduksi Gas Metana (CH_4)

Dampak Ekonomi dan Sosial Pengolahan Limbah Cair Kelapa Sawit (POME)

Salah satu upaya meningkatkan keberlanjutan energi dan mengurangi dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh industri kelapa sawit, pengolahan limbah cair melalui *co-firing* biogas menawarkan peluang besar untuk mengintegrasikan solusi energi terbarukan dengan efisiensi industri. *Cofiring* merupakan teknologi yang menggabungkan biogas dengan bahan bakar konvensional dalam proses pembakaran, bertujuan untuk mengurangi penggunaan bahan bakar fosil dan meningkatkan efisiensi energi. Hasil samping dari proses produksi minyak sawit berupa limbah cair (POME), memiliki potensi biogas yang besar karena kandungan organik yang tinggi. Meskipun *Cofiring* biogas menjanjikan solusi yang ramah lingkungan, analisis komprehensif dampak sosial, ekonomi, dan lingkungan sangat



penting untuk memahami sejauh mana teknologi *cofiring* biogas dapat diimplementasikan secara berkelanjutan, dampaknya terhadap masyarakat, ekonomi lokal, dan lingkungan di sekitarnya.

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa durasi pencampuran sludge memiliki pengaruh signifikan terhadap produksi gas metana (CH_4). Pencampuran selama 5 jam dengan kapasitas pompa 20 m^3/jam menghasilkan kandungan minyak di reaktor antara 0,03%-0,06% dan nilai metana yang dihasilkan lebih tinggi dibandingkan dengan pencampuran yang dilakukan selama 2, 3, dan 4 jam.

DAFTAR PUSTAKA

- Direktorat Jenderal Perkebunan. (2021). Buku Statistik Non Unggulan 2020- 2022. In Sekretariat Direktorat Jenderal Perkebunan.
- Ditjen EBTKE. (2018). Laporan Kinerja Ditjen EBTKE 2018. Ditjen EBTKE.
- Kementrian Lingkungan Hidup. (2013). Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 349 Tahun 2013 Tentang Hasil Penilaian Peringkat Kinerja Perusahaan Dalam Pengelolaan Lingkungan Hidup Tahun 2012-2013. Jakarta.
- Lubis, R. A. (2021). Optimizing Oil Separation to Improve CH_4 Production from POME. *Indonesian Journal of Environmental Technology*.
- Permenlh RI. (2014). Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup RI No. 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limba
- Valentino, F., Gottardo, M., Micolucci, F., Pavan, P., Bolzonella, D., Rossetti, S., & Majone, M. (2018). "Role of total suspended solids (TSS) and oil removal in anaerobic digestion of fatty wastewaters." *Waste Management*, 75, 113–121.
- Zulkifli, A. (2016). Analisis Kelayakan Potensi Pembangunan PLTBg Pome Di Wilayah Perkebunan Sawit. *Jurnal Pasti* 10(2): 192-127.

