

**KARAKTERISTIK BIOGAS DARI LIMBAH CAIR PRODUKSI MINYAK KELAPA SAWIT (*ELAEIS GUINEENSIS JACQ*)
DI PT KODECO AGROJAYA MANDIRI, KALIMANTAN SELATAN SEBAGAI BAHAN BAKAR MESIN GAS**

Muhammad Ihsan Widya Atmaja

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email: muhammadihsan.21001@mhs.unesa.ac.id

Muhaji

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email: muhaji61@unesa.ac.id

Abstrak

Minyak kelapa sawit merupakan komoditas utama di Indonesia dengan konsumsi yang terus meningkat seperti untuk industri makanan, biofuel, serta kosmetik, sehingga menghasilkan limbah cair yang meningkat. Limbah cair produksi minyak kelapa sawit memiliki kandungan BOD yang tinggi dan pH asam yang berpotensi mencemari lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh pH *buffer* pada *scrubber* terhadap karakteristik biogas gas metana (CH₄), karbon dioksida (CO₂), hidrogen sulfida (H₂S), oksigen (O₂) di PT Kodeco Agrojaya Mandiri yang digunakan untuk bahan bakar mesin gas. Penelitian ini menggunakan jenis penelitian eksperimen. Bahan yang digunakan limbah cair pabrik kelapa sawit kemudian dilakukan pengujian kadar biogas yang di produksi dengan pengambilan gas pada *check valve* setelah *scrubber*. Penelitian ini memvariasi kadar pH *buffer* (7,4, 7,5, 7,6) pada *scrubber* terhadap kadar gas metana (CH₄), karbon dioksida (CO₂), hidrogen sulfida (H₂S), dan oksigen (O₂) dengan durasi setiap pengujian 120 detik. Pengujian karakteristik biogas menggunakan standar pengujian ISO 25139:2011. Penelitian ini dilaksanakan di PT Kodeco Agrojaya Mandiri, Kalimantan Selatan. Analisis data menggunakan jenis analisa deskriptif kuantitatif. Hasil penelitian yang telah dilakukan menunjukkan semakin tinggi kadar pH, kadar CH₄ juga semakin meningkat dengan kadar tertinggi 69,8% pada pH 7,6. Untuk kadar CO₂ dan kadar O₂ mengalami penurunan seiring meningkatnya kadar pH. Kadar CO₂ terendah pada pH 7,6 dengan persentase 39,8%. Untuk kadar O₂ terendah pada pH 7,6 dengan persentase 1,7%. Sedangkan kadar H₂S naik pada pH 7,5 dengan kadar 7,3 ppm serta kadar terendah pada pH 7,4 dengan kadar 5,7 ppm. Dapat disimpulkan bahwa kadar pH 7,6 lebih optimal untuk digunakan karena memiliki nilai kalor yang lebih baik.

Kata Kunci: anaerob, biogas, energi terbarukan, POME.

Abstract

Palm oil is a major commodity in Indonesia with increasing consumption for industries such as food, biofuel, and cosmetics, resulting in increasing liquid waste. Liquid waste from palm oil production has a high BOD content and acidic pH that has the potential to pollute the environment. This study aims to analyze the effect of pH buffer in the scrubber on the characteristics of methane (CH₄), carbon dioxide (CO₂), hydrogen sulfide (H₂S), oxygen (O₂) biogas at PT Kodeco Agrojaya Mandiri which is used for gas engine fuel. This study uses an experimental research type. The material used is palm oil mill liquid waste, then the biogas content produced is tested by taking gas from the check valve after the scrubber. This study varies the pH buffer level (7.4, 7.5, 7.6) in the scrubber on the levels of methane (CH₄), carbon dioxide (CO₂), hydrogen sulfide (H₂S), and oxygen (O₂) with a duration of 120 seconds for each test. Biogas characteristics testing uses the ISO 25139:2011 testing standard. This research was conducted at PT Kodeco Agrojaya Mandiri, South Kalimantan. Data analysis used quantitative descriptive analysis. The results showed that as pH levels increased, CH₄ levels also increased, with the highest level reaching 69.8% at pH 7.6. CO₂ and O₂ levels decreased with increasing pH. The lowest CO₂ level was at pH 7.6, with a percentage of 39.8%. O₂ levels were lowest at pH 7.6, with a percentage of 1.7%. H₂S levels increased at pH 7.5, with a percentage of 7.3 ppm, and the lowest at pH 7.4, with a percentage of 5.7 ppm. It can be concluded that pH 7.6 is more optimal for use due to its higher calorific value.

Keywords: anaerobic, biogas, renewable energy, POME.

PENDAHULUAN

Minyak sawit merupakan salah satu komoditas utama di Indonesia yang memiliki peran strategis dalam perekonomian nasional (Darwin *et al.*, 2021). Indonesia tidak hanya menjadi produsen terbesar minyak sawit dunia, tetapi juga pemasok utama kebutuhan minyak nabati untuk berbagai industri (Wirayudhana dkk., 2022). Dalam beberapa tahun terakhir, permintaan terhadap minyak sawit terus meningkat seiring berkembangnya kebutuhan di sektor makanan, biofuel, hingga kosmetik (Irvan dkk., 2020). Kondisi ini mendorong pertumbuhan industri kelapa sawit yang signifikan, tetapi di sisi lain juga menghadirkan tantangan besar terkait pengelolaan limbahnya (Aziz *et al.*, 2020).

Limbah dari pabrik kelapa sawit (PKS) perlu mendapat perhatian serius karena dapat menimbulkan

dampak negatif bagi lingkungan jika tidak dikelola dengan baik (Andika dkk., 2020). Berdasarkan karakteristiknya, limbah PKS terbagi menjadi dua jenis, yaitu limbah padat dan limbah cair. Limbah padat yang umum dihasilkan meliputi tandan kosong, cangkang (*shell*), dan serat (*fiber*), sedangkan limbah cair utama yang paling menjadi sorotan adalah *Palm Oil Mill Effluent* (POME) (Wiharja dkk., 2021).

Pabrik kelapa sawit menghasilkan 0,7 m³ - 1 m³ POME untuk setiap ton tandan buah segar (TBS) yang diolah (Rahayu dkk., 2015). POME berbentuk cairan kental berwarna coklat yang mengandung bahan pencemar seperti *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), dan *Total Suspended Solid* (TSS) dalam jumlah tinggi, serta

memiliki tingkat keasaman (pH) yang rendah dan temperatur yang tinggi (Nursanti, 2013).

Menurut Rahayu dkk., (2015) pabrik kelapa sawit (PKS) berkapasitas 60 ton/jam mampu menghasilkan POME sebanyak 45-50 m³/jam, dengan karakteristik POME kadar *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) sebanyak 9020 mg/L, pH 3,4, *Chemical Oxygen Demand* (COD) sebanyak 19712,5 mg/L serta kandungan lainnya. Kandungan ini menjadikan POME sebagai salah satu penyumbang pencemaran lingkungan apabila tidak diolah dengan baik sebelum dibuang ke lingkungan perairan.

Dampak buruk dari POME yang tidak terkelola mencakup pencemaran air, penurunan kualitas tanah, serta pelepasan gas metana yang berkontribusi terhadap pemanasan global (Sodri dkk., 2022). Oleh karena itu, pengolahan limbah cair POME menjadi kebutuhan yang mendesak. Pengelolaan yang tepat, tidak hanya dapat mengurangi risiko pencemaran, tetapi juga memungkinkan pemanfaatan POME sebagai sumber energi terbarukan seperti biogas (Azka, 2019). Pengolahan POME dengan teknologi yang sesuai bertujuan untuk menurunkan kadar BOD, COD, dan TSS hingga memenuhi standar baku mutu yang telah ditetapkan oleh peraturan pemerintah. Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 5 Tahun 2021, limbah cair POME yang dibuang ke lingkungan harus memiliki nilai BOD di bawah 5.000 mg/L dengan pH antara (6-9). Bentuk alternatif untuk pengelolaan limbah cair pabrik kelapa sawit adalah dengan memanfaatkan kandungan BOD yang tinggi untuk dikonversi menjadi biogas (Sodri dkk., 2022).

Teknologi biogas memanfaatkan mikroorganisme yang tersedia untuk mengolah berbagai limbah organik pada kondisi kedap udara (*anaerob*). Hasil dari pengolahan tersebut menghasilkan gas yang terdiri dari gas metana (CH₄), gas karbon dioksida (CO₂) yang mana gas tersebut dapat dimanfaatkan menjadi bahan bakar gas (BBG) (Annur dkk., 2020). Biogas dari POME tersusun dari gas metana (CH₄) 50-75%, gas karbon dioksida (CO₂) 25-45% (Pangarso & Kusdiyantini, 2022).

Selain memberikan manfaat lingkungan, pengolahan POME yang optimal juga dapat menghadirkan nilai tambah bagi pabrik dan masyarakat sekitar. Dengan pendekatan yang tepat, POME dapat menjadi salah satu solusi dalam mewujudkan industri kelapa sawit yang berkelanjutan, selaras dengan upaya menjaga kelestarian lingkungan dan mendukung ekonomi hijau (Aziz *et al.*, 2019). Pemanfaatan POME sebagai biogas mampu menghasilkan energi yang bermanfaat bagi perusahaan, salah satunya sebagai sumber listrik yang dapat dimanfaatkan untuk proses pengolahan serta sebagai sumber listrik untuk masyarakat (Sutrisno, 2010). Pemanfaatan biogas pada perusahaan saat ini digunakan untuk bahan bakar mesin gas guna menghasilkan listrik untuk proses pengolahan kernel *crushing plant* (KCP) serta untuk kebutuhan listrik perumahan karyawan.

Pengembangan terhadap energi terbarukan menjadi salah satu fokus utama untuk mengatasi ketergantungan pada bahan bakar fosil serta meningkatkan efisiensi energi yang sesuai untuk kebutuhan energi di masa mendatang (Jayakumar *et al.*, 2023). Kandungan pada

biogas dapat mempengaruhi sifat dan kualitas biogas sebagai bahan bakar. Biogas yang memiliki kandungan metana (CH₄) lebih dari 45% akan mudah terbakar. Namun jika kandungan karbon dioksida (CO₂) 25%-50% maka akan mengurangi nilai kalor bakar dari biogas tersebut. Sedangkan pada kandungan H₂S dalam biogas akan menyebabkan korosi pada peralatan maupun mesin dan mengurangi nilai kalor bakar biogas tersebut (Deublein & Steinhauser, 2008).

Berdasarkan penelitian Rajagukguk, (2020) hasil pengolahan limbah cair tahu didapatkan kandungan gas metana (CH₄) 54-70%, karbon dioksida (CO₂) 27-45%. Pada penelitian Nurhilal dkk., (2020) didapatkan gas metana (CH₄) 55%-70%, karbon dioksida (CO₂) 30%-45%, hidrogen sulfida (H₂S) <1 ppm. Kandungan tersebut didapat dari variasi campuran kotoran sapi dengan limbah cair tahu dengan perbandingan 50:50 dan waktu fermentasi selama 168 jam. Menurut penelitian (Mardawati dkk., (2024) mengenai produksi biogas dari kotoran sapi, limbah buah sayuran dan serasah daun didapatkan bahwa kandungan gas metana (CH₄) 79%, oksigen (O₂) 0,3%, karbon monoksida (CO) 70 ppm, dan hidrogen sulfida (H₂S) tidak terbaca. Temperatur lingkungan sedikit berpengaruh terhadap produksi biogas.

Sehingga berdasarkan latar belakang di atas tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh pH *buffer* pada *scrubber* terhadap karakteristik biogas dari limbah cair produksi minyak kelapa sawit (*Elaeis Guineensis Jacq*) terhadap mesin gas. Dengan kandungan yang tepat diharapkan akan meningkatkan masa pakai mesin gas tersebut.

METODE

Jenis Penelitian

Jenis Penelitian ini menggunakan jenis eksperimen. Penelitian ini menganalisis mengenai pengaruh pH *buffer* terhadap karakteristik biogas yang dihasilkan dari limbah cair produksi minyak kelapa sawit dengan variasi pH *buffer* (7,4, 7,5, dan 7,6).

Waktu dan Tempat Penelitian

➤ Waktu Penelitian

Untuk pengambilan sampel dan pengujian dilakukan setelah seminar proposal tugas akhir dan disetujui oleh tim penguji kemudian melakukan pengambilan data dan analisa data.

➤ Tempat Penelitian

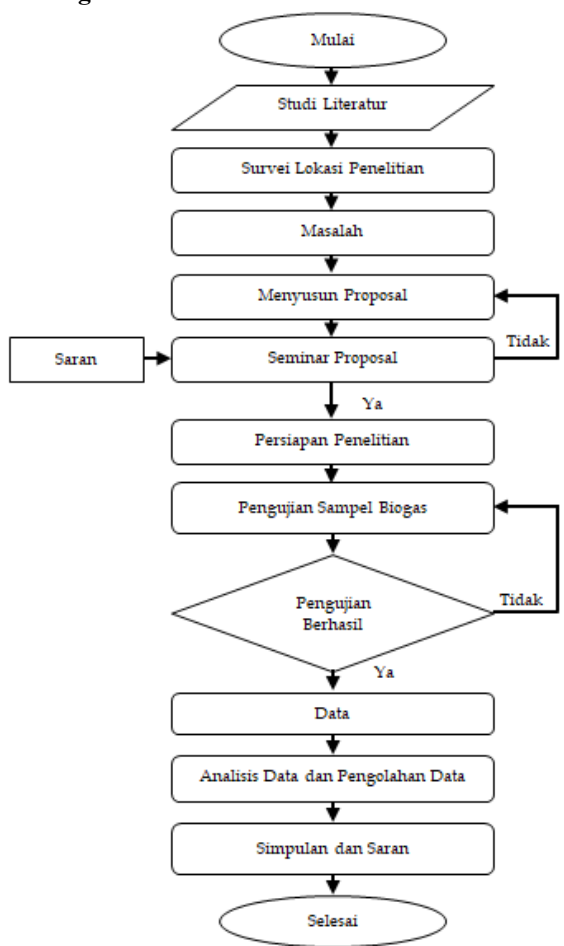
- Pengambilan sampel limbah cair dilakukan di Pabrik PT Kodeco Agrojaya Mandiri, Kalimantan Selatan.
- Pengujian sampel biogas pada *output valve scrubber* di PT Kodeco Agrojaya Mandiri, Kalimantan Selatan.

Karakteristik Biogas dari Limbah Cair Produksi Minyak Kelapa Sawit (*Elaeis Guineensis* Jacq)
di PT Kodeco Agrojaya Mandiri, Kalimantan Selatan Sebagai Bahan Bakar Mesin Gas

Bahan, Alat, dan Instrumen Penelitian

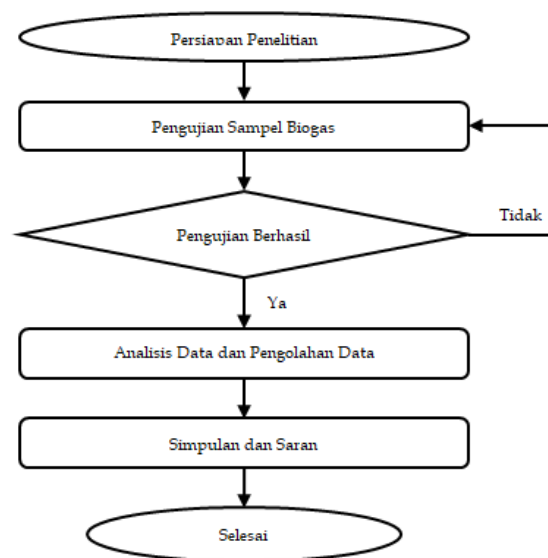
- Bahan
 - Biogas
- Alat
 - *Scrubber* Hidrogen Sulfida
 - Kamera
 - *Gas Holder*
 - *Dry Pot*
 - *Waste Water PIT*
 - *Dehumidifier*.
 - Biogas engine JGS320.
 - Biogas engine JGS312.
- Instrumen
 - Pengukur kandungan biogas (biogas 5000)
 - pH Meter
 - *Check valve* pengukuran kandungan biogas.

Rancangan Penelitian



Gambar 1. Rancangan Penelitian

Desain Eksperimen



Gambar 2. Desain Eksperimen

Variabel Penelitian

- Variabel Bebas
 - pH pada *buffer tank* dengan variasi (7,4, 7,5, dan 7,6)
- Variabel Terikat

Variabel terikat pada penelitian ini yaitu Kadar biogas yang dihasilkan berupa kandungan metana (CH₄), karbon dioksida (CO₂), hidrogen sulfida (H₂S), oksigen (O₂).
- Variabel Kontrol
 - Pengambilan sampel pada hasil dari *scrubber*.
 - Pengujian sampel dilakukan 9 kali pada tiap variasi pH per hari dan dilakukan selama 3 hari pada setiap variabel pH (7,4, 7,5, 7,6).
 - Pengukuran menggunakan alat biogas 5000 selama 120 detik.

Teknik Analisis Data

Teknik analisis data yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah deksriptif kuantitatif. Teknik analisis data dilakukan dengan cara menganalisis data kuantitatif yang diperoleh dari pengujian. Data tersebut dimasukan ke dalam tabel lalu dikonversikan ke dalam bentuk grafik. Data yang ada pada tabel dan grafik di analisis perbandingan kadar gas biogas yang dihasilkan kemudian di deskripsikan menjadi kalimat yang mudah dipahami sehingga dapat diambil kesimpulan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian

Hasil pengujian kadar gas biogas di PT Kodeco Agrojaya Mandiri, Kalimantan Selatan ditunjukkan pada berikut ini.

1. Hasil Pengujian Kadar Gas Biogas pada pH 7,4

Tabel 1. Hasil Pengujian Kadar Biogas pH 7,4

Hari ke-1

Tanggal: 2 Oktober 2025						
Jam	Beban Mesin (kW)	Flow Biogas (Nm ³ /h)	Kondisi Aktual			
			CH ₄	CO ₂	O ₂	H ₂ S
08.00	697	348	62,5	39,1	9,4	5
	655	325	62,1	38,6	4,6	12
	697	351	61,1	39,4	3,2	14
12.00	717	381	60,7	37,6	4,9	14
	716	384	61,8	40	2,8	14
	716	385	61,3	38,3	3,3	14
16.00	592	311	60,4	40	2,6	13
	580	305	61,2	40,4	2,7	14
	588	308	60,8	40,5	2,1	14

Tabel 2. Hasil Pengujian Kadar Biogas pH 7,4

Hari ke-2

Tanggal: 3 Oktober 2025						
Jam	Beban Mesin (kW)	Flow Biogas (Nm ³ /h)	Kondisi Aktual			
			CH ₄	CO ₂	O ₂	H ₂ S
08.00	646	314	61,1	39	5,8	5
	629	317	60,6	39,4	2,7	12
	636	301	60,4	39,4	2,7	13
12.00	674	351	60,6	39,6	2,6	14
	697	364	61,4	40,4	2,2	13
	695	364	60,2	39,8	2,1	13
16.00	250	135	60,9	40,2	2,4	13
	250	136	60,4	40	2,5	13
	251	140	61,2	40,5	2,3	13

Tabel 3. Hasil Pengujian Kadar Biogas pH 7,4

Hari ke-3

Tanggal: 4 Oktober 2025						
Jam	Beban Mesin (kW)	Flow Biogas (Nm ³ /h)	Kondisi Aktual			
			CH ₄	CO ₂	O ₂	H ₂ S
08.00	593	305	61,6	40,7	2,2	14
	833	390	61,5	40,7	2,3	14
	824	390	59,7	39,6	2,2	15
12.00	744	386	61,1	40,4	2,4	14
	767	392	60	39,8	2,1	15
	693	351	60,1	39,8	2,7	14
16.00	690	356	62,8	38,8	3,1	23
	770	390	62,2	39,5	6,1	14
	763	378	62,1	37,8	2,5	13

2. Hasil Pengujian Kadar Gas Biogas pada pH 7,5

Tabel 4. Hasil Pengujian Kadar Biogas pH 7,5

Hari ke-1

Tanggal: 24 September 2025						
Jam	Beban Mesin (kW)	Flow Biogas (Nm ³ /h)	Kondisi Aktual			
			CH ₄	CO ₂	O ₂	H ₂ S
08.00	265	165	64,6	38,8	2,4	10
	270	182	63,1	37,8	2,6	16
	275	180	63,8	38,2	2,0	16
12.00	276	189	61,9	37,4	2,6	13
	292	198	63,6	37,5	2,8	14
	293	195	63,8	37,9	2,5	16
16.00	260	202	61,0	36,9	3,7	13
	258	202	63,1	37,8	2,4	15
	0	0	63,3	38,1	2,4	17

Tabel 5. Hasil Pengujian Kadar Biogas pH 7,5

Hari ke-2

Tanggal: 25 September 2025						
Jam	Beban Mesin (kW)	Flow Biogas (Nm ³ /h)	Kondisi Aktual			
			CH ₄	CO ₂	O ₂	H ₂ S
08.00	347	210	64,3	39,3	2,5	7
	348	214	63,9	39,0	2,5	9
	348	220	63,0	38,5	3,0	9
12.00	294	229	62,4	38,2	2,2	11
	288	222	63	38,6	2,2	12
	294	224	63,6	38,7	2,5	12
16.00	315	223	64,8	39,4	2,4	9
	321	322	64,3	38,9	5,4	8
	296	216	64,5	39,3	2,6	9

Tabel 6. Hasil Pengujian Kadar Biogas pH 7,5

Hari ke-3

Tanggal: 26 September 2025						
Jam	Beban Mesin (kW)	Flow Biogas (Nm ³ /h)	Kondisi Aktual			
			CH ₄	CO ₂	O ₂	H ₂ S
08.00	334	188	63,7	38,4	3,6	7
	304	179	64	39	2,2	14
	325	186	63	38,7	2,5	14
12.00	287	175	63,3	38,8	2,1	15
	275	170	63,2	38,8	2,1	17
	243	167	62,2	38,1	2,7	17
16.00	316	179	63	38,5	2,6	13
	249	161	62,6	38,4	2,6	14
	251	161	62,4	38,1	2,7	14

Karakteristik Biogas dari Limbah Cair Produksi Minyak Kelapa Sawit (*Elaeis Guineensis* Jacq)
di PT Kodeco Agrojaya Mandiri, Kalimantan Selatan Sebagai Bahan Bakar Mesin Gas

3. Hasil Pengujian Kadar Gas Biogas pada pH 7,6

Tabel 7. Hasil Pengujian Kadar Biogas pH 7,6

Tanggal: 28 September 2025						
Jam	Beban Mesin (kW)	Flow Biogas (Nm ³ /h)	Kondisi Aktual			
			CH ₄	CO ₂	O ₂	H ₂ S
08.00	133	79	64,1	38,5	2,9	11
	121	72	64	38,3	3	11
	106	67	64	38,7	2,8	12
12.00	113	79	64	38,3	2,7	6
	100	75	64,3	38,8	2,4	10
	111	77	64,1	38,5	4,9	7
16.00	115	76	64,1	38,2	3	9
	120	77	64,5	38,6	2,5	15
	109	75	64,2	38,3	3,5	14

Tabel 8. Hasil Pengujian Kadar Biogas pH 7,6

Tanggal: 29 September 2025						
Jam	Beban Mesin (kW)	Flow Biogas (Nm ³ /h)	Kondisi Aktual			
			CH ₄	CO ₂	O ₂	H ₂ S
08.00	324	196	64,2	38,7	2,6	10
	287	170	64,2	38,8	2,6	11
	289	174	64,1	38,7	2,5	12
12.00	349	191	64,3	39,3	3	8
	350	190	64,4	39,8	2,2	15
	349	190	64,2	39,9	2,3	15
16.00	249	164	64,3	38,7	3,8	9
	249	164	64,1	39,1	2,4	15
	249	164	64,1	39,3	2,4	17

Tabel 9. Hasil Pengujian Kadar Biogas pH 7,6

Tanggal: 30 September 2025						
Jam	Beban Mesin (kW)	Flow Biogas (Nm ³ /h)	Kondisi Aktual			
			CH ₄	CO ₂	O ₂	H ₂ S
08.00	285	167	64,4	39,4	2,3	8
	287	167	64,2	39,4	2,3	10
	286	168	64,1	39,4	2,4	11
12.00	308	185	64,3	39,2	2,2	9
	300	182	64,3	39,3	2,3	10
	300	184	64,6	39,5	2,2	10
16.00	313	178	64,5	39,2	2,7	9
	291	176	64,6	39,6	2,3	11
	302	178	64,2	39,3	2,3	10

berdasarkan dari data pengambilan pada masing – masing variasi pH dapat diambil rata – rata keseluruhan pada tabel 10 hasil pengujian rata – rata gas dari biogas limbah cair pabrik kelapa sawit sebagai berikut:

Tabel 10. Hasil Pengujian Rata – Rata Gas dari Biogas Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit

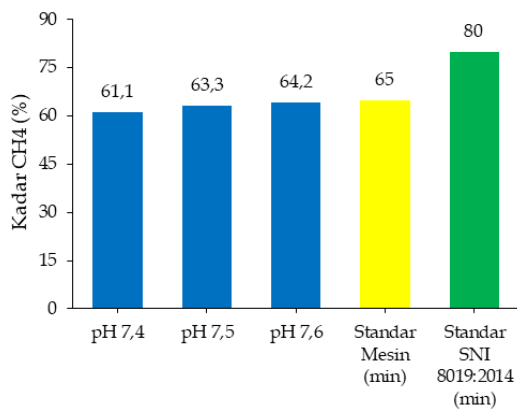
Standar Mutu Biogas SNI 8019:2014	H ₂ S	23,0 ppm (maks)	23,0 ppm (maks)	23,0 ppm (maks)
	O ₂	1,0% (maks)	1,0% (maks)	1,0% (maks)
	CO ₂	18,0% (maks)	18,0% (maks)	18,0% (maks)
	CH ₄	80,0% (min)	80,0% (min)	80,0% (min)
Standar Mesin	H ₂ S	100,0 ppm (maks)	100,0 ppm (maks)	100,0 ppm (maks)
	O ₂	2,0% (maks)	2,0% (maks)	2,0% (maks)
	CO ₂	40,0% (maks)	40,0% (maks)	40,0% (maks)
	CH ₄	65,0% (min)	65,0% (min)	65,0% (min)
Aktual	H ₂ S	13,3 ppm	11,6 ppm	10,9 ppm
	O ₂	3,2%	2,7%	2,7%
	CO ₂	39,6%	38,4%	39,0%
	CH ₄	61,1%	63,5%	64,1%
Variasi pH		7,4	7,5	7,6
Flow Biogas (Nm ³ /h)		328	191	143
Beban Mesin (kW)		643	282	237

Berdasarkan hasil pengujian rata - rata yang didapatkan, perubahan pada *flow* biogas mengikuti beban mesin. Pada saat beban mesin naik maka *flow* biogas akan naik. Perubahan beban mesin mengikuti kebutuhan pada pabrik terutama pada pengolahan *kernel crushing plant*. Sehingga beban mesin dapat naik maupun turun mengikuti kebutuhan pabrik.

Analisis dan Pembahasan

Kadar CH₄

Kadar CH₄ menunjukkan jumlah konsentrasi gas metana (CH₄) dalam suatu persentase campuran. Biogas yang memiliki kandungan metana (CH₄) lebih dari 45% akan mudah terbakar (Deublein & Steinhauser, 2008). Berdasarkan tabel 10 dan gambar 3 dijelaskan bahwa pada setiap kenaikan pH pada *buffer tank* kadar CH₄ yang didapat juga meningkat.

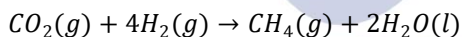


Variasi pH dan Standar Mutu Biogas

Gambar 3. Diagram Batang Kadar CH₄

Hasil yang diperoleh pada pH (7,4, 7,5, dan 7,6) berturut-turut 61,1%, 63,3%, dan 64,2%. Hasil pengujian kadar CH₄ pada pH 7,6 pada persentase 64,2% nilai tertinggi dan mendekati standar mesin gas *engine*. Pada hasil pengujian kadar CH₄ pada pH 7,5 dan pH 7,6 dengan nilai 61,1% dan 63,3% masih belum mendekati standar gas *engine*. Namun dari semua variasi pH pada kadar CH₄ belum memenuhi standar mesin gas maupun standar SNI 8019:2014.

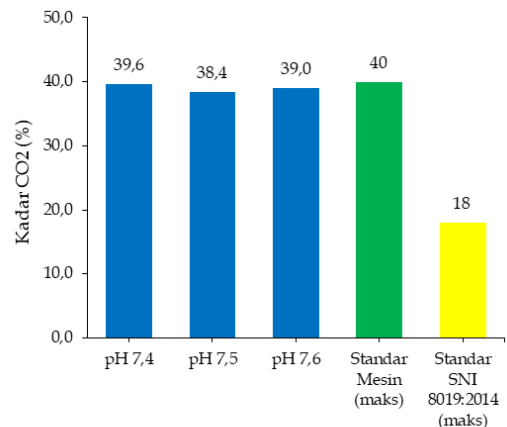
Pada saat biogas masuk *scrubber* larutan *sludge* biogas sebagai larutan *buffer* kemudian disemprotkan untuk mengikat kandungan gas yang tidak terpakai pembakaran mesin sehingga gas O₂, CO₂, dan H₂S akan bereaksi dan larut dengan air (Hilma dkk., 2022). Pada saat proses anaerobik biogas menghasilkan gas H²⁺ dan CO₂ oleh bakteri *asetogenik*. Sehingga pada *sludge* biogas terdapat kandungan H²⁺ dapat mengubah CO₂ menjadi CH₄ seperti pada reaksi tersebut:



Akibat dari reaksi tersebut maka kadar CH₄ juga mengalami peningkatan ketika kadar CO₂ semakin turun (Woraruthai *et al.*, 2020). Reaksi lain mengenai peningkatan kadar CH₄ dikarenakan menurunnya kadar CO₂ pada pH yang lebih tinggi karena CO₂ mudah larut sehingga kadar CH₄ menjadi naik. Semakin banyak gas CO₂ yang terserap maka kadar CH₄ juga akan semakin naik (Purba & Barutu, 2021).

Kadar CO₂

Kadar karbon dioksida (CO₂) menunjukkan jumlah konsentrasi gas karbon dioksida dalam suatu persentase campuran. Kadar CO₂ yang semakin tinggi akan mengurangi nilai kalor pada kandungan biogas (Deublein & Steinhauser, 2008). Berdasarkan tabel 10 dan gambar 4 dijelaskan bahwa meningkatnya kadar pada pH 7,4 dan pH 7,5 menurunkan kadar gas CO₂ namun pada pH 7,6 terjadi peningkatan kadar CO₂.



Variasi pH dan Standar Mutu Biogas

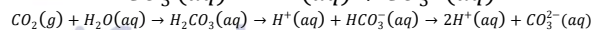
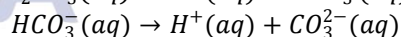
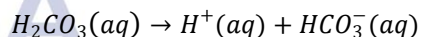
Gambar 4. Diagram Batang Kadar CO₂

Hasil pengujian yang diperoleh pada pH (7,4, 7,5, dan 7,6) berturut-turut 39,6%, 38,4%, dan 39,0%. Hasil pengujian kadar CO₂ pada pH 7,4 dengan persentase 39,6% mendekati nilai maksimal standar mesin gas *engine*. Pada semua variasi pH pada kadar CO₂ masih dibawah nilai maksimal standar mesin gas tetapi belum memenuhi standar SNI 8019:2014 dengan nilai maksimal 18%.

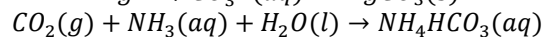
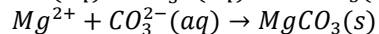
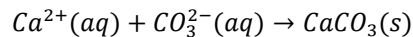
Menurunnya kadar CO₂ diakibatkan penyerapan kadar CO₂ oleh cairan penyerap pada pH *buffer*. Penurunan kadar CO₂ dipengaruhi oleh pH larutan, sehingga jika semakin tinggi kadar pH, maka kadar CO₂ semakin mudah larut dan bereaksi dalam larutan penyerap (Ningsih dkk., 2017). Gas CO₂ ketika dilarutkan pada larutan air akan mengalami proses pelarutan dan reaksi kesetimbangan membentuk asam karbonat (H₂CO₃) seperti pada reaksi berikut:



Asam karbonat yang terbentuk selanjutnya mengalami disosiasi bertahap menjadi ion bikarbonat (HCO₃⁻) dan karbonat (CO₃²⁻) seperti pada reaksi tersebut:



Larutan *sludge* biogas mengandung amonia (NH₃), kalsium (Ca²⁺), magnesium (Mg²⁺) sehingga kandungan tersebut membantu membentuk endapan sehingga gas CO₂ mampu terikat kemudian mengendap berikut penjelasan reaksi tersebut:

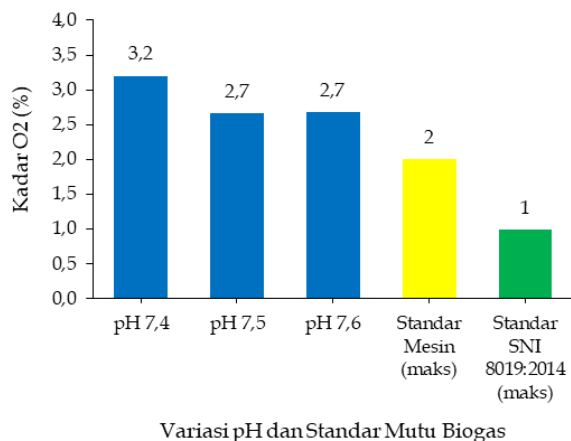


Ion logam dalam *sludge* biogas mengendapkan karbonat sehingga mengurangi kandungan CO₂ terlarut dan gas menjadi kalsium karbonat (CaCO₃) (Salek *et al.*, 2016). Kemudian pada amonia (NH₃) dapat mengubah karbon dioksida (CO₂) dan air (H₂O) menjadi amonium bikarbonat (NH₄HCO₃) sebagai padatan putih (Rusanowska *et al.*, 2023). Namun kenaikan kadar CO₂ pada pH 7,6 dari kadar 38,4% menjadi 39% diakibatkan oleh larutan *buffer* yang jenuh dengan karbonat atau

bikarbonat akibat menggunakan *sludge* dari biogas sehingga daya serap CO₂ berkurang (He *et al.*, 2017).

Menurut Cucek *et al.*, (2017), yang menjelaskan bahwa perubahan pH kecil dalam sistem water scrubbing tidak selalu menghasilkan peningkatan signifikan dalam laju absorpsi CO₂. Akibatnya, sebagian CO₂ tetap lolos dari larutan dan masuk ke aliran gas keluaran. Selain itu, perubahan pH juga dapat memengaruhi proses *off-gassing*, yaitu pelepasan kembali CO₂ terlarut ketika tekanan berubah atau ketika gas dengan CH₄ tinggi mendorong desorpsi CO₂ dari larutan. Menurut Bauer *et al.*, (2013) peningkatan fraksi CH₄ dapat mendorong pelepasan CO₂ dari fase cair ke fase gas jika kesetimbangan tekanan berubah selama proses pemompaan atau re-sirkulasi. Dengan demikian, meski filtrasi berjalan, kadar CO₂ yang terukur pada outlet scrubber dapat meningkat. Secara keseluruhan, peningkatan pH yang sangat kecil 7,5 → 7,6 memang dapat memperbaiki kondisi larutan sehingga CH₄ menjadi lebih dominan, namun peningkatan CO₂ tetap mungkin terjadi karena penyerapan CO₂ tidak hanya bergantung pada pH, tetapi juga pada alkalinitas, tekanan operasi, laju aliran gas, rasio kontak gas ke cair, dan proses desorpsi (Bauer *et al.*, 2013).

Kadar O₂

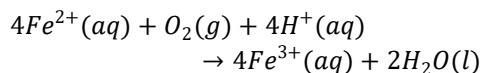


Gambar 5. Diagram Batang Kadar CO₂

Kadar oksigen (O₂) menunjukkan jumlah konsentrasi gas oksigen dalam suatu persentase campuran. Kadar O₂ yang semakin tinggi akan mengurangi nilai kalor pada kandungan biogas serta mempercepat terjadinya korosi akibat adanya oksidasi pada logam (Deublein & Steinhauer, 2008). Berdasarkan tabel 10 dan gambar 5 dijelaskan bahwa semakin naik kadar pH *buffer tank* persentase O₂ semakin turun, namun pada pH 7,6 kadar O₂ tidak mengalami penurunan. Hasil pengujian yang diperoleh pada pH (7,4, 7,5, dan 7,6) berturut-turut 3,2%, 2,7%, dan 2,7%. Hasil pengujian kadar O₂ belum memenuhi standar mesin gas serta standar SNI 8019:2014. Kadar O₂ pada standar mesin maksimal 2% serta pada standar SNI 8019:2014 maksimal 1%.

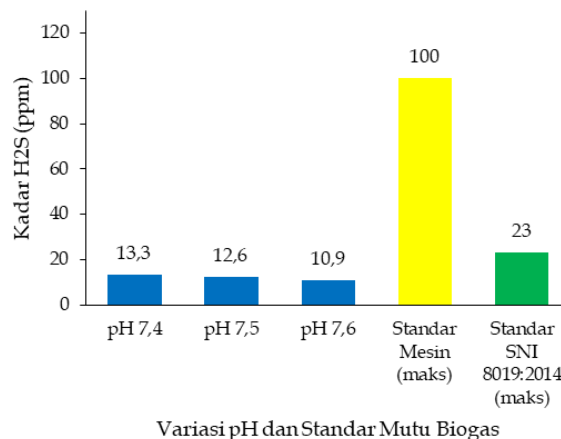
Pada *sludge* biogas memiliki kandungan Fe²⁺ dimana ion tersebut mengkonsumsi O₂ serta

mempercepat oksidasi sulfida (Fe³⁺) berikut penjelasan reaksi tersebut:



Penurunan kadar O₂ diakibatkan oleh reaksi dengan H₂S dan senyawa sulfur terlarut membentuk senyawa oksidasi menjadi ion sulfat (SO₄²⁻) sehingga O₂ sejalan dengan peningkatan efisiensi oksidasi H₂S (Rueda *et al.*, 2020). Pada saat kondisi pH 7,6 kadar O₂ tidak mengalami perubahan karena sudah mencapai keseimbangan reaksi oksidasi sulfur dan oksigen dalam sistem air, sehingga kenaikan pH 7,6 tidak menurunkan kadar O₂ (Rueda *et al.*, 2020).

Kadar H₂S

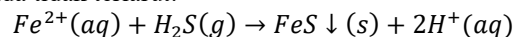


Gambar 6. Diagram Batang Kadar H₂S

Kadar hidrogen sulfida (H₂S) menunjukkan jumlah konsentrasi gas hidrogen sulfida dalam suatu campuran. Kadar H₂S yang semakin tinggi akan mengurangi nilai kalor pada kandungan biogas serta akan menimbulkan korosi pada suku cadang mesin (Deublein & Steinhauer, 2008).

Berdasarkan tabel 10 dan gambar 6 dijelaskan bahwa pada setiap kenaikan pH pada *buffer tank* kadar H₂S akan semakin menurun. Hasil yang diperoleh pada pH (7,4, 7,5, dan 7,6) berturut-turut 13,3 ppm, 12,6 ppm, dan 10,9 ppm. Kadar H₂S pada variasi pH 7,4, 7,5, dan 7,6 sudah sesuai dengan standar mesin gas maupun standar SNI 8019:2014 dimana nilai kadar maksimal masing-masing adalah 100,0 ppm dan 23,0 ppm.

Pada saat gas biogas masuk *scrubber* larutan *sludge* biogas disemprotkan untuk mengikat kandungan gas tidak terpakai pembakaran mesin. Penurunan kadar H₂S diakibatkan oleh *sludge* biogas yang mengandung Fe²⁺ ion tersebut mengikat H₂S dan membentuk padatan logam sulfida tidak terlarut:



Oleh karena perubahan tersebut H₂S dalam biogas menurun karena terikat menjadi endapan logam sulfida (FeS) atau nama lain belerang (Lenis *et al.*, 2023). Perubahan lain pada kadar H₂S diakibatkan oleh kadar pH yang semakin tinggi (basa) sehingga H₂S mudah larut dalam air berubah menjadi ion HS⁻ dan S²⁻ yang larut dalam cairan sehingga kadar H₂S semakin turun (Kang *et al.*, 2020).

SIMPULAN

Berdasarkan dari hasil penelitian, analisis, dan pembahasan tentang pengaruh pH *buffer tank* pada *scrubber* terhadap karakteristik biogas (CH₄, CO₂, O₂, H₂S) adalah sebagai berikut:

- Secara keseluruhan pengaruh variasi pH *buffer* pada *scrubber* biogas dapat disimpulkan bahwa kadar pH 7,6 lebih optimal untuk kebutuhan bahan bakar mesin gas. Hal ini ditunjukkan bahwa kadar CH₄ yang tertinggi pada persentase 64,2%, kadar CO₂ yang masih dibawah batas maksimal dengan persentase 39,0%, kandungan H₂S dengan kadar 10,9 ppm kondisi tersebut memiliki nilai kalor yang lebih baik untuk pembakaran mesin gas dan mengurangi kerusakan pada mesin.

SARAN

Berdasarkan hasil penelitian, analisis, pembahasan serta kesimpulan yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran untuk penelitian selanjutnya sebagai berikut:

- Saran bagi industri
 - Meningkatkan K3 terutama penggunaan masker karena paparan gas hidrogen sulfida (H₂S), karbon dioksida (CO₂) maupun metana (CH₄) berlebih dapat berbahaya bagi manusia.
 - Menambahkan sensor pH kontinu pada *buffer tank* baik pada jalur *output* menuju *scrubber* dan sebelum masuk *buffer tank*, serta *dosing pump* agar dapat mengontrol pH secara *real time*.
- Saran bagi peneliti selanjutnya
 - Variasi pada temperatur pH *buffer* serta menggunakan larutan pengganti *slurry* biogas agar dapat meningkatkan kadar CH₄ sesuai standar mesin serta menurunkan kadar O₂ dibawah batas maksimal standar mesin maupun standar SNI 8019:2014.

DAFTAR PUSTAKA

- Andika B., Wahyuningsih P., & Fajri R., 2020. "Penentuan Nilai BOD dan COD Sebagai Parameter Pencemaran Air dan Baku Mutu Air Limbah Di Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS) Medan". 2(1), 14-22. <https://ejurnalunsam.id/index.php/JQ>.
- Azka N. 2019. "Konstanta Pembentukan Biogas dari Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit (LCPKS) Menggunakan Pemodelan Gompertz Yang Dimodifikasi Pada Variasi Laju Pengadukan". *Jurnal USU*, <http://repositori.usu.ac.id/handle/123456789/25571>.
- Aziz N. I. H. A., Hanafiah M. M., Gheewala S. H., & Ismail H. 2020. "Bioenergy for a Cleaner Future: A Case Study of Sustainable Biogas Supply Chain in the Malaysian Energy Sector". *Sustainability (Switzerland)*, 12(8). doi.org/10.3390/SU12083213.
- Bauer F., Hultberg C., Persson T., & Tamm D. 2013. "Biogas upgrading -Review of commercial technologies". *International Journal of Green Energy*, 10(4), 290–319.
- Cucek L., Hjalila K., Klemes J. J., & Kravanja Z. 2017. "Onion Diagram Implementation to the Synthesis of a Biogas Production Network". *Journal Chemical Engineering Transactions*. 61, 1687-1692. doi.org/10.3303/CET1761279.
- Darwin, Mardhotillah, & Pratama A. 2021. "Anaerobic Co-Digestion of Oil Palm Frond Waste With Cow Manure for Biogas Production: Influence of A Stepwise Organic Loading on The Methane Productivity". *Bulletin of the Transilvania University of Brasov, Series II: Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering*, 14–63(2), 99–112. doi.org/10.31926/BUT.FWIAFE.2021.14.63.2.9.
- Deublein D., & Steinhauser A., 2008. "Biogas from Waste and Renewable Resources. An Introduction", *WILEY VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim*. doi.org/10.1002/9783527621705.
- He Q., Xi J., Wang W., Meng L., Yan S., Zhang Y. 2017. "CO₂ absorption using biogas slurry: Recovery of absorption performance through CO₂ vacuum regeneration" *International Journal of Greenhouse Gas Control*. 58, 103-113. doi.org/10.1016/j.ijggc.2017.01.010.
- Irvan, Trisakti B., & Azka N. 2020. "Pengaruh Laju Pengadukan Terhadap Stabilitas Digester Anaerobik Satu Tahap pada Pembentukan Biogas dari Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit Menggunakan Lab Scale Reaktor Batch". *Jurnal Teknik Kimia USU*, 09(1), 16–20. <https://talenta.usu.ac.id/jtk>.
- Jayakumar M., Gindaba G. T., Gebeyehu K. B., Periyasamy S., Jabesa A., Baskar G., John B. I., & Pugazhendhi A. 2023. "Bioethanol Production from Agricultural Residues as Lignocellulosic Biomass Feedstock's Waste Valorization Approach: A Comprehensive Review". *Science of the Total Environment*. 879(11), 163158. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163158.
- Kang J. H., Yoon Y., Song J. 2020. "Effects of pH on the simultaneous removal of hydrogen sulfide and ammonia in a combined absorption and electro-oxidation system" *Journal of Hazardous Material*. 382, 1-8. doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121011.
- Lenis A., Ramires M., Cortes J. J. G., Ooms K., & Pinnekamp J. 2023. "Implementation of a Pilot-Scale Biotrickling Filtration Process for Biogas Desulfurization under Anoxic Conditions Using Agricultural Digestate as Trickling Liquid" *Journal Bioengineering*. 10(160), 1-19. doi.org/10.3390/bioengineering10020160.
- Mardawati E., Faruqy M. Z. A., & Wiyatna M. F. 2024. "Produksi Biogas *Co-digestion* dari Kotoran Sapi, Limbah Buah Sayuran, dan Serasah Daun di Universitas Padjajaran". *Biomass, Biorefinery, and Bioeconomy*, 2(2), 152–160.
- Nursanti I., 2013. "Karakteristik Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit pada Proses Pengolahan Anaerob dan Aerob" *Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi*, 13(4), 67-73.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 5 Tahun 2021.