



# Pengembangan Anaerobic Digester Untuk Produksi Biogas Dari Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit

Teuku Azuar Rizal<sup>a</sup>, Mahidin<sup>b</sup>, Muhammad Ayyub<sup>c</sup>

<sup>a,c</sup> Fakultas Teknik Universtas Samudra, Meurandeeh - Langsa

<sup>c</sup> Fakultas Teknik, Universtas Syiah Kuala, Darussalam – Banda Aceh

## INFORMASI ARTIKEL

### Riwayat Artikel:

Dikirim 10 November 2015

Direvisi dari 20 November 2015

Diterima 30 November 2015

### Kata Kunci:

Setiap Kata Kunci ditulis per baris

## ABSTRAK

Total kapasitas produksi seluruh PKS yang beroperasi di Provinsi Aceh mencapai 770 Tons Tandan Buah Segar (TBS) per jam. Limbah dari produksi pabrik kelapa sawit biasa disebut Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit (LCPKS). Jika produksi limbah cair pabrik kelapa sawit berkisar 0.50-0.65 m<sup>3</sup> per ton TBS, maka total limbah mencapai 2,471,814 m<sup>3</sup> per tahun. LCPKS berpotensi dimanfaatkan melalui pengolahan biokonversi anaerobik secara termofilik untuk memperoleh biogas yang dapat dimanfaatkan sebagai energi. Sampel limbah cair yang digunakan pada penelitian ini diperoleh dari PKS Cot Girek PTPN I Aceh. Dalam penelitian ini, telah dirancang peralatan utama penelitian berupa digester dengan kapasitas 20 liter. Alat tersebut akan diisi dengan campuran LCPKS yang ditambahkan dengan kotoran sapi pada perbandingan 90%:10%, 80%:20%, dan 70%:30%. Kotoran sapi terlebih dahulu dicampur dengan limbah cair biogas untuk menghasilkan aktivator. Bahan baku masukan biogas didapat dengan mencampurkan LCPKS, aktivator, dan CaCO<sub>3</sub> yang digunakan untuk meningkatkan pH, kemudian campuran dimasukkan ke dalam digester. Variabel penting yang diukur antara lain: suhu, pH, Nilai Volatile Solid, Kandungan Nitrogen dan Kandungan Karbon dan laju aliran produksi gas. Analisis dilakukan secara diskriptif. Produksi gas dianalisis dengan Analisis Regresi Linier, yang terdiri atas dua peubah, yaitu waktu perbandingan campuran LCPKS-kotoran sapi termasuk dalam peubah bebas, sedangkan produksi gas termasuk dalam peubah tak bebas. Dari hasil penelitian ini diharapkan akan dihasilkan satu prototipe digester anaerobik untuk produksi biogas dengan memanfaatkan limbah cair pabrik kelapa sawit

© 2015 Jurnal Ilmiah JURUTERA. Di kelola oleh Fakultas Teknik. Hak Cipta Dilindungi.

## 1. Pendahuluan

### 1.1. Latar Belakang

Pada kuartal terakhir tahun 2014 ini United States Department of Agriculture (USDA) memerkirakan bahwa produksi minyak sawit dunia akan mencapai 63.29 juta metrik ton. Ada kenaikan produksi sekitar 3.73 juta tons atau setara 6.26% diseluruh dunia. Tabel 1 memperlihatkan posisi Indonesia sebagai penghasil minyak sawit terbesar dunia saat ini [1]. Dengan semakin meningkatnya total luas areal perkebunan kelapa sawit di Indonesia s.d. tahun 2013 mencapai seluas 9.074.621 Ha yang sedikit banyak

akan berpengaruh terhadap perkembangan pembangunan Pabrik Kelapa Sawit (PKS), baik pembangunan baru atau peningkatan kapasitas [2]. Pada tahun 2013, luas total perkebunan untuk produksi kelapa sawit Indonesia diperkirakan sekitar 10 juta hektar dan memproduksi 27 juta ton minyak kelapa. Indonesia memiliki target untuk meningkatkan produksinya menjadi 40 juta ton pada tahun 2020 [3].

**Tabel 1. Produksi Minyak Sawit menurut negara (Nilai dalam Metrik Ton)**

Negara	Jumlah Produksi
Indonesia	33,500,000
Malaysia	21,250,000

\* Penulis Utama.

Negara	Jumlah Produksi
Others	4,293,000
Thailand	2,250,000
Colombia	1,070,000
Nigeria	930,000

Sumber: Ref [1]

Kementerian Pertanian bekerjasama dengan United Nations Development Programme (UNDP) secara resmi mencanangkan platform nasional untuk Perkebunan Kelapa Sawit Berkelanjutan (Sustainable Palm Oil Initiative, SPOI) yang bertujuan untuk mendukung petani kelapa sawit berpenghasilan rendah agar dapat meningkatkan produksi dan meningkatkan pengelolaan lingkungan. [3]

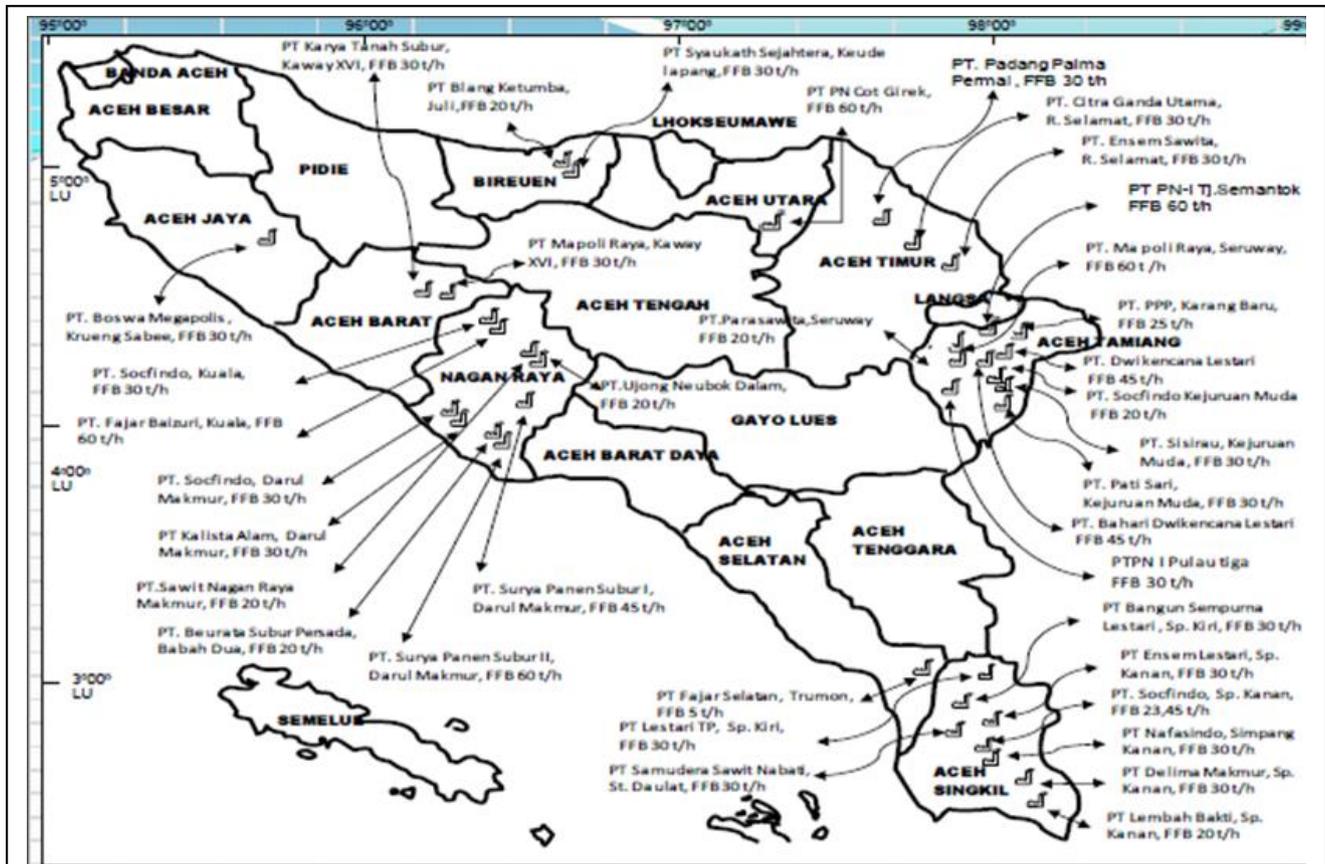
Kelapa sawit dianggap sebagai penyebab utama perubahan penggunaan lahan. Perubahan penggunaan lahan merupakan sumber emisi terbesar dari emisi Indonesia. Perubahan penggunaan lahan dan dekomposisi gambut menyumbang sekitar 87% emisi dari sumber berbasis lahan sehingga aspek ini perlu menjadi prioritas mitigasi. Kelapa sawit menyumbang sekitar 107 juta ton/tahun (16%) [5]. Namun demikian, Sektor industri kelapa sawit berpeluang mengurangi emisi gas rumah kaca melalui:

Penggunaan lahan semak belukar untuk pengembangan perkebunan dan menghindari hutan dan lahan gambut sebisa mungkin;

1. Mengendalikan kebakaran hutan dan lahan;
2. Pengelolaan drainase lahan gambut;
3. Pemanfaatan CH<sub>4</sub> dari POME untuk sumber listrik;

Di Aceh sendiri kelapa sawit mengalami pertumbuhan pesat. Produksi kelapa sawit pada tahun 2011 sekitar 482.895 ton Tandan Buah Segar (TBS) dan meningkat pada tahun 2012 menjadi 493.826 ton TBS dengan total luas lahan 319.167 Ha [6]. Hingga saat ini, tercatat ada sekitar 22 Pabrik Kelapa sawit (PKS) yang tersebar di seluruh Aceh sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 1. Peta ini belum memuat rencana penambahan pabrik PKS.

Produksi total rancangan untuk seluruh PKS yang beroperasi di Provinsi Aceh mencapai 770 Tons Tandan Buah Segar (TBS) per jam. Salah satu limbah yang dihasilkan pada produksi pabrik kelapa sawit adalah limbah berbentuk cair atau biasa disebut palm oil mill effluent (POME) atau limbah cair pabrik kelapa sawit (LCPKS). LCPKS ini seringkali menjadi sumber masalah akibat kelalaian dalam pengelolaan LCPKS ini. Limbah ini memiliki konsentrasi yang tinggi dan berwarna coklat pekat. Produksi limbah cair pabrik kelapa sawit berkisar 0.50-0.65 m<sup>3</sup> per ton TBS,



Sumber: Ref [7]

Gambar 1 Lokasi dan produksi Pabrik Kelapa Sawit Provinsi Aceh

maka produksi limbah cair dari seluruh pabrik kelapa sawit di Provinsi Aceh mencapai 2,471,814 m<sup>3</sup> per tahun [7].

Teknik pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit (LCPKS) pada umumnya menggunakan metode pengolahan limbah kombinasi yaitu dengan sistem proses anaerobik dan aerobik. Limbah cair yang dihasilkan oleh pabrik dialirkan ke bak penampungan untuk dipisahkan antara minyak yang terikut dan limbah cair. Kemudian limbah cair dialirkan ke bak anaerobik untuk dilakukan proses pengolahan secara anaerobik. Pengolahan limbah secara anaerobik merupakan proses degradasi senyawa organik seperti karbohidrat, protein dan lemak yang terdapat dalam limbah cair oleh bakteri anaerobik tanpa kehadiran oksigen [8]. Waktu tinggal limbah cair di dalam kolam anaerobik adalah selama 30 hari di mana proses anaerobik yang terjadi di dalam kolam dapat menurunkan kadar BOD dan COD limbah cair hingga 70%. Setelah pengolahan limbah cair secara anaerobik, kemudian dilakukan pengolahan dengan proses aerobik selama 15 hari [9]. Teknologi ini dianggap tidak mampu memberikan solusi ramah lingkungan. Selain karena butuh lahan yang relatif luas, juga melepaskan gas rumah kaca. Saat ini telah banyak dilakukan penelitian dan pengembangan proses yang bertujuan untuk memanfaatkan LCPKS sebagai bahan baku pembentukan biogas.

Biogas merupakan salah satu produk hasil biokonversi dari bahan organik. Biokonversi adalah sebuah proses yang mampu mengubah bahan organik menjadi produk lain yang berguna dan memiliki nilai tambah dengan memanfaatkan proses biologis dari mikroorganisme dan enzim [10]. Sedangkan, biogas menurut Sahidu (1983) adalah bahan bakar gas yang dihasilkan dari suatu proses fermentasi bahan organik oleh bakteri dalam keadaan tanpa oksigen. Bahan bakar ini diproses dalam kondisi anaerob sehingga menghasilkan metana (CH<sub>4</sub>) dengan kadar dominan dan karbondioksida (CO<sub>2</sub>). Komposisi biogas yang dihasilkan terdiri atas metana (50-70%), karbondioksida (25-45%), hidrogen, nitrogen, dan hidrogen sulfida dalam jumlah yang sedikit [11].

Fermentasi LCPKS secara anaerobik termofilik dengan HRT 6 hari dan sistem recycle. Pada penelitian tersebut digunakan trace metal Ni 0,49 mg/l, Co 0,42 mg/l dan Fe 25 mg/l dan diperoleh biogas sebanyak 7 - 9 l/hari dan dengan sistem recycle diperoleh laju dekomposisi COD mencapai 85%. Trace metal yang merupakan mikronutrien bagi mikroorganisme umumnya berupa logam-logam yang apabila keberadaannya pada konsentrasi yang tinggi dapat berbahaya bagi makhluk hidup, sehingga walaupun keberadaannya dibutuhkan tapi penggunaannya tidak boleh berlebihan. [12]

Kandungan unsur hara dalam kotoran sapi bervariasi tergantung pada keadaan tingkat produksinya, jenis dan jumlah pakannya, serta individu ternak sendiri [13]. Kandungan unsur hara dalam kotoran sapi, antara lain nitrogen (0,29%), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0,17%), dan K<sub>2</sub>O (0,35%) [14]. Kotoran sapi yang tinggi kandungan hara dan energinya berpotensi untuk dijadikan bahan baku penghasil biogas [15]. Selain itu, kotoran sapi mengandung rasio C/N yang rendah sehingga mampu menurunkan rasio C/N yang tinggi pada LCPKS. Melihat kondisi ini, maka dilakukan penelitian tentang produksi biogas yang berbahan dasar palm oil mill effluent (LCPKS) dengan

penambahan kotoran sapi sebagai aktivator. Penelitian ini dilakukan dengan skala laboratorium menggunakan digester.

Penelitian ini telah merancang biodigester untuk menganalisis metode pembuatan biogas dari limbah cair pabrik kelapa sawit dengan penambahan kotoran sapi sebagai aktivator dan mengetahui produksi biogas yang dihasilkannya.

Tahapan yang dilalui dalam penelitian ini adalah perancangan digester, pembuatan digester, pengujian sifat-sifat kimia limbah cair pabrik kelapa sawit (LCPKS) yang berasal dari pabrik kelapa sawit PKS Cot Girek PTPN I Aceh. Sebagai aktivator pembentukan biogas digunakan kotoran sapi, dan pengujian karakteristik produksi biogas dilakukan dengan cara mengukur volume biogas yang dibentuk untuk perbandingan LCPKS-kotoran sapi yang bervariasi.

## 2. Tinjauan Pustaka

### 2.1. Limbah Pabrik Kelapa Sawit

Secara umum, limbah PKS dikelompokkan menjadi limbah padat dan limbah cair. Limbah padat atau dikenal juga dengan biomassa merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang tersusun atas material yang sangat heterogen dengan struktur kimia yang kompleks. Bagian utama material ini adalah bahan-bahan organik yang sangat kaya akan karbon, hidrogen, oksigen, nitrogen dan sulfur. Limbah padat ini masih belum dimanfaatkan secara maksimal dan masih banyak terbuang begitu saja. Biomassa tersebut sangat potensial untuk dimanfaatkan sebagai bahan bakar/sumber energi alternatif pengganti bahan bakar fosil yang semakin langka dan mahal.

Selanjutnya, limbah cair PKS mengandung bahan organik yang relatif tinggi dan tidak bersifat toksik karena tidak menggunakan bahan kimia dalam proses ekstraksi minyak. Karakteristik limbah yang dihasilkan PKS dan baku mutu limbah disajikan pada Tabel 1 dan komposisinya ditabulasikan pada Tabel 2.

**Tabel 2. Karakteristik limbah cair PKS dan baku mutu limbah**

Parameter	Limbah PKS*)	Baku mutu limbah**)
pH	4,10	6 – 9
BOD (g/L)	212,80	110
COD (g/L)	347,20	250
TSS (g/L)	211,70	100
Kandungan nitrogen total (g/L)	41	20
Oil and grease (g/L)	31	30

Keterangan: \*) Amaru dan Kharistya, 2008; \*\*) Kepmen LH Nomor 51/MEN LH/10/1995

Sumber: Ref [16]

**Tabel 3. Komposisi kimia limbah cair PKS**

Komponen	% berat kering
Ekstrak dengan ether	31,60
Protein (N x 6,25)	8,20
Serat	11,90

Komponen	% berat kering
Ekstrak tanpa N	34,20
Abu	14,10
P	0,24
K	0,99
Ca	0,97
Mg	0,30
Na	0,08
Energi (kkal / 100 gr)	454

Sumber: Ref [17]

Jumlah limbah cair yang dihasilkan  $\pm$  550 kg per ton TBS (tandan buah segar) yang diolah, dengan berat jenis antara 1,05 - 1,10 g/cm<sup>3</sup> [18]. Limbah cair mencapai 40 - 70% TBS yang diolah [19]. Produksi limbah cair pabrik kelapa sawit berkisar 0.50-0.65 m<sup>3</sup> per ton TBS, maka produksi limbah cair dari seluruh pabrik kelapa sawit di Provinsi Aceh mencapai 2,471,814 m<sup>3</sup> per tahun [7]. Kisaran jumlah tersebut tergantung juga pada sistem pengolahan limbah suatu pabrik. Salah satu limbah cair PKS dengan potensi dampak pencemaran lingkungan adalah lumpur (sludge) yang berasal dari proses klarifikasi dan disebut dengan lumpur primer. Lumpur yang telah mengalami proses sedimentasi disebut dengan lumpur sekunder. Lumpur mempunyai kandungan bahan organik yang tinggi dengan pH < 5.

Pemanfaatan Limbah Cair PKS sebagai Sumber Energi

Pengolahan TBS, disamping menghasilkan biomassa juga menghasilkan limbah cair dalam jumlah yang besar. Limbah cair atau Palm Oil Mill Effluent (LCPKS) dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan biogas. Selain menghasilkan biogas seperti metana, beberapa penelitian juga telah memfokuskan pada pemanfaatan limbah cair tersebut untuk menghasilkan gas hidrogen (H<sub>2</sub>). Tabel 4 merincikan beberapa penemuan tentang jumlah gas H<sub>2</sub> yang dapat dihasilkan oleh limbah cair kelapa sawit.

**Tabel 4. Sumber energi Hidrogen yang di hasilkan dari pengolahan limbah cair kelapa sawit**

Maximum hidrogen yg di hasilkan (mL/L)	Laju Produksi (mL/L h)	Kandungan Hidrogen (%)	Maximum penyisihan COD (%)	pH Optimum
3,195	1,034	62	-	5,5
4,708	454	66	-	5,5
534	64	-	-	-
1,210	251	58	-	5,5
6,710	34	-	63	-
-	543	-	-	6,25
102.6	-	57	67	5

Sumber: Ref [20]

## 2.2. Tinjauan teoritik degradasi limbah cair

Metode pengolahan limbah dapat dilakukan secara fisika, kimia, dan biologi. Pengolahan limbah secara kimia dilakukan

dengan proses koagulasi, flokulasi, sedimentasi dan flotasi. Proses kimia sering kurang efektif karena pembelian bahan kimianya yang cukup tinggi dan menghasilkan sludge dengan volume yang cukup besar. Sedangkan pengolahan limbah secara biologis dapat dilakukan dengan proses aerob dan anaerob.

Secara konvensional pengolahan limbah cair PKS dilakukan secara biologis dengan menggunakan kolam, yaitu limbah cair diproses dalam kolam aerobik dan anaerobik dengan memanfaatkan mikroba sebagai perombak BOD dan menetralkan keasaman cairan limbah. Pengolahan limbah cair PKS secara konvensional banyak dilakukan oleh pabrik karena teknik tersebut cukup sederhana dan biayanya lebih murah. Namun pengolahan dengan cara tersebut membutuhkan lahan yang luas untuk pengolahan limbah. Untuk PKS dengan kapasitas 30 ton TBS/jam akan dibutuhkan  $\pm$  7 hektar lahan untuk pengolahan limbah. Selain itu efisiensi perombakan limbah cair PKS hanya 60 - 70% dengan waktu retensi yang cukup lama, yaitu 120 - 140 hari. Kolam-kolam limbah konvensional akan mengeluarkan gas metana (CH<sub>4</sub>) dan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) yang membahayakan karena merupakan emisi penyebab efek rumah kaca. Disamping itu kolam-kolam pengolahan limbah sering mengalami pendangkalan, sehingga baku mutu limbah tidak tercapai. [9]

Untuk menurunkan konsentrasi zat-zat dalam limbah agar memenuhi baku mutu lingkungan yang dipersyaratkan, limbah cair PKS dapat diolah dengan digester anaerobik. Pengolahan limbah cair PKS dengan menggunakan digester anaerobik dilakukan dengan mensubstitusi proses yang terjadi di kolam anaerobik pada sistem konvensional ke dalam tangki digester. Tangki digester berfungsi menggantikan kolam anaerobik yang dibantu dengan pemaian bakteri *mesophilic* dan *thermophilic* [17]. Kedua bakteri ini termasuk bakteri methanogen yang merubah substrat dan menghasilkan gas metana.

Fermentasi anaerobik dalam proses perombakan bahan organik dilakukan oleh sekelompok mikroba anaerobik fakultatif maupun obligat dalam satu tangki digester (reaktor tertutup) pada suhu 35 - 55 oC. Metabolisme anaerobik selulose melibatkan banyak reaksi kompleks dan prosesnya lebih sulit daripada reaksi-reaksi anaerobik bahan-bahan organik lain seperti karbohidrat, protein, dan lemak. Biodegradasi tersebut melalui beberapa tahapan yaitu proses hidrolisis, proses asidogenesis, proses asetonogenesis, dan proses metanogenesis. Proses hidrolisis adalah proses dekomposisi biomassa kompleks menjadi glukosa sederhana memakai enzim yang dihasilkan oleh mikroorganisme sebagai katalis. Hasilnya, biomassa menjadi dapat larut dalam air dan mempunyai bentuk yang lebih sederhana. Proses asidogenesis merupakan proses perombakan monomer dan oligomer menjadi asam asetat, CO<sub>2</sub>, dan asam lemak rantai pendek serta alkohol. Proses asidogenesis atau fase non methanogenesis menghasilkan asam asetat, CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>. Sementara proses methanogenesis merupakan perubahan senyawa-senyawa organik menjadi gas metana yang dilakukan oleh bakteri methanogenik. Salah satu bakteri methanogenik yang populer adalah methanobacillus omelianskii.

Proses biokonversi metanogenik merupakan proses biologis yang sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan, baik lingkungan biotik maupun abiotik. Faktor biotik meliputi mikroba dan jasad

aktif. Faktor jenis dan konsentrasi inokulum sangat berperan dalam proses perombakan dan produksi biogas. Pada pengujian Inokulum LKLM II-20% (b/v) dengan substrat 15 L, diperoleh produksi biogas paling baik dibandingkan konsentrasi lainnya dimana produksi biogasnya mencapai 121 liter [21]. Sedangkan faktor abiotik meliputi pengadukan (agitasi), suhu, tingkat keasaman (pH), kadar substrat, kadar air, rasio C/N, dan kadar P dalam substrat, serta kehadiran bahan toksik [21]. Diantara faktor abiotik di atas, faktor pengendali utama produksi biogas adalah suhu, pH, dan senyawa beracun.

Kehidupan mikroba dalam cairan memerlukan keadaan lingkungan yang cocok antara lain pH, suhu, dan nutrisi. Derajat keasaman pada mikroba berkisar antara 5-9. Oleh karena itu limbah cair PKS yang bersifat asam (pH 4-5) merupakan media yang tidak cocok untuk pertumbuhan bakteri, maka untuk mengaktifkan bakteri cairan limbah PKS tersebut harus dinetralisasi. Penambahan bahan penetral pH dapat meningkatkan produksi biogas. Namun keasamannya dibatasi agar tidak melebihi pH 9, karena pada pH 5 dan pH 9 dapat menyebabkan terganggunya enzim bakteri (enzim terdiri dari protein yang dapat mengkoagulasi pada pH tertentu). Peningkatan pH optimum akan memacu proses pembusukan sehingga meningkatkan efektifitas bakteri methanogenic dan dapat meningkatkan produksi biogas. Substrat awal pada kondisi pH 7 memberikan peningkatan laju produksi biogas lebih baik dibandingkan dengan perlakuan pH yang lain. [21]

Peningkatan suhu juga dapat meningkatkan laju produksi biogas. Mikroba menghendaki suhu cairan sesuai dengan jenis mikroba yang dikembangkan. Berdasarkan sifat adaptasi bakteri terhadap suhu dapat dibedakan menjadi 3 (tiga) bagian [17].

Psychrophill, yaitu bakteri yang dapat hidup aktif pada suhu rendah yaitu 10 oC, bakteri ini ditemukan pada daerah-daerah sub tropis.

Mesophil, yaitu bakteri yang hidup pada suhu 10-50 oC dan merupakan jenis bakteri yang paling banyak dijumpai pada daerah tropis.

Thermophil, yaitu bakteri yang tahan panas pada suhu 50-80 oC. Bakteri ini banyak dijumpai pada tambang minyak yang berasal dari perut bumi.

Perombakan limbah dapat berjalan lebih cepat pada penggunaan bakteri thermophil. Suhu yang tinggi dapat memacu perombakan secara kimiawi, perombakan yang cepat akan dimanfaatkan oleh bakteri methanogenik untuk menghasilkan gas metana, sehingga dapat produksi biogas. Peningkatan suhu sebesar 40 oC dapat menghasilkan 68,5 liter biogas [21].

Limbah cair mengandung karbohidrat, protein, lemak, dan mineral yang dibutuhkan oleh mikroba. Komposisi limbah perlu diperbaiki dengan penambahan nutrisi seperti unsur P dan N yang diberikan dalam bentuk pupuk TSP dan urea. Jumlah kandungan bahan makanan dalam limbah harus dipertahankan agar bakteri tetap berkembang dengan baik. Jumlah lemak yang terdapat dalam limbah akan mempengaruhi aktifitas perombak limbah karbohidrat dan protein. Selain kontinuitas makanan juga kontak antara makanan dan bakteri perlu berlangsung dengan baik yang dapat dicapai dengan melakukan agitasi (pengadukan). Agitasi juga

berpengaruh terhadap produksi biogas. Pemberian agitasi berpengaruh lebih baik dibandingkan tanpa agitasi dalam peningkatan laju produksi gas. Dengan agitasi substrat akan menjadi homogen, inokulum kontak langsung dengan substrat dan merata, sehingga proses perombakan akan lebih efektif. Agitasi dimaksudkan agar kontak antara limbah cair PKS dan bakteri perombak lebih baik dan menghindari padatan terbang atau mengendap. Agitasi pada 100 rpm dapat meningkatkan produksi biogas.

Reaksi perombakan anaerobik tidak menginginkan kehadiran oksigen, karena oksigen akan menonaktifkan bakteri. Kehadiran oksigen pada limbah cair dapat berupa kontak limbah dengan udara. Kedalaman reaktor akan mempengaruhi reaksi perombakan. Semakin dalam reaktor akan semakin baik hasil perombakan. Kehadiran bahan toksik juga menghambat proses produksi biogas. Kehadiran bahan toksik ini akan menghambat aktifitas mikroorganisme untuk melakukan perombakan. Maka untuk memperoleh produksi biogas yang baik, kehadiran bahan toksik harus dicegah.

Hasil produksi biogas juga ditentukan oleh faktor waktu fermentasi. Hal ini disebabkan untuk melakukan perombakan anaerob terdiri atas 4 (empat) tahapan. Untuk itu setiap proses membutuhkan waktu yang cukup. Pengaruh waktu fermentasi memberikan hasil yang berbeda pada produksi biogas. Semakin lama proses fermentasi, maka akan semakin tinggi produksi biogas.

Parameter kinetik merupakan dasar penting dalam desain bioreaktor terutama konstanta laju pertumbuhan mikroba maksimum dan menentukan waktu tinggal biomassa minimum. Parameter kinetik biodegradasi anaerob limbah cair PKS optimum diperoleh pada konstanta setengah jenuh ( $K_s$ ) 1,06 g/L, laju pertumbuhan spesifik maksimum ( $\mu_m$ ) 0,187/hari, perolehan biomassa ( $Y$ ) 0,395 gVSS/gCOD, konstanta laju kematian mikroorganisme ( $K_d$ ) 0,027/hari, dan konstanta pemanfaatan substrat maksimum ( $k$ ) 0,474/hari. [22]

Potensi biogas yang dihasilkan dari 600-700 kg limbah cair PKS dapat diproduksi sekitar 20 m<sup>3</sup> biogas [23] dan setiap m<sup>3</sup> gas metana dapat diubah menjadi energi sebesar 4.700 – 6.000 kkal atau 20-24 MJ [24]. Sebuah PKS dengan kapasitas 30 ton TBS/jam dapat menghasilkan tenaga biogas untuk energi setara 237 KWh [4].

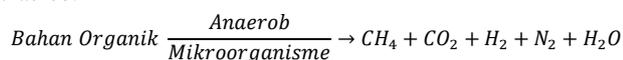
Selain menghasilkan biogas, pengolahan limbah cair dengan proses digester anaerobik dapat dilakukan pada lahan yang sempit dan memberi keuntungan berupa penurunan jumlah padatan organik, jumlah mikroba pembusuk yang tidak diinginkan, serta peningkatan kualitas pupuk dari sludge yang dihasilkan, karena sludge yang dihasilkan berbeda dari sludge limbah cair PKS biasa yang dilakukan melalui proses konvensional [25]. Kelebihan digester anaerobik antara lain adalah sebagai berikut.

1. Penurunan kadar BOD bisa mencapai 80 - 90%.
2. Baunya berkurang sehingga tidak disukai lalat.
3. Berwarna coklat kehitam-hitaman.
4. Kualitas sludge sebagai pupuk lebih baik, yaitu:
  - a. memperbaiki struktur fisik tanah,
  - b. meningkatkan aerasi, peresapan, retensi, dan kelembaban,

- c. meningkatkan perkembangbiakan dan perkembangan akar,
- d. meningkatkan unsur organik tanah, pH dan kapasitas tukar kation tanah, dan
- e. meningkatkan populasi mikroflora dan mikrofauna tanah maupun aktivitasnya.

### 2.3. Mekanisme reaksi pengolahan limbah cair dengan proses anaerobik

Proses pengolahan anaerobik adalah proses pengolahan senyawa-senyawa organik yang terkandung dalam limbah menjadi gas metana dan karbon dioksida tanpa memerlukan oksigen. Penguraian senyawa organik seperti karbohidrat, lemak dan protein yang terdapat dalam limbah cair dengan proses anaerobik akan menghasilkan biogas yang mengandung metana (50-70%), CO<sub>2</sub> (25-45%) dan sejumlah kecil nitrogen, hidrogen dan hidrogen sulfida. Reaksi sederhana penguraian senyawa organik secara anaerob:



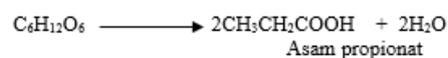
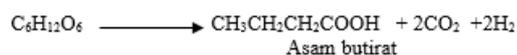
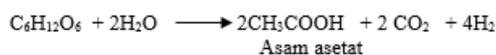
Sebenarnya penguraian bahan organik dengan proses anaerobik mempunyai reaksi yang begitu kompleks dan mungkin terdiri dari ratusan reaksi yang masing-masing mempunyai mikroorganisme dan enzim aktif yang berbeda. Penguraian dengan proses anaerobik secara umum dapat disederhanakan menjadi 2 tahap:

1. Tahap pembentukan asam, dan
2. Tahap pembentukan metana

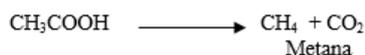
Langkah pertama dari tahap pembentukan asam adalah hidrolisa senyawa organik baik yang terlarut maupun yang tersuspensi dari berat molekul besar (polimer) menjadi senyawa organik sederhana (monomer) yang dilakukan oleh enzim-enzim ekstraseluler. Proses pembentukan asam dan gas metana dari suatu senyawa organik sederhana melibatkan banyak reaksi percabangan. Mosey (1983) yang menggunakan glukosa sebagai sampel untuk menjelaskan bagaimana peranan keempat kelompok bakteri tersebut menguraikan senyawa ini menjadi gas metana dan karbon dioksida sebagai berikut [26].

Bakteri pembentuk asam menguraikan senyawa glukosa:

1. Bakteri asetogenik menguraikan asam propionat dan asam butirat:



2. Metan asetoklastik menguraikan asam aseta:



3. Tahap metanasi

Pada tahap metanasi, bakteri metanogen merombak senyawa-senyawa asam lemak yang mudah menguap (VFA), CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub> hasil tahap asidifikasi menjadi gas metana yang merupakan tujuan utama. Bakteri metanogen bersifat anaerob dan peka terhadap perubahan pH, suhu dan konsentrasi. Reaksi yang terjadi pada tahap metanasi adalah sebagai berikut:



### 2.4. Mikroorganisme yang berperan

Bakteri-bakteri metanasi tidak dapat mengolah alkohol-alkohol serta asam-asam organik dalam bentuk lain selain asam asetat, propionat, butirat dan laktat (VFA). Dalam proses anaerobik seperti yang tertera diatas maka paling sedikit dibutuhkan tiga kelompok bakteri.

#### 2.4.1. Bakteri hidrolisis dan acetogen

Bakteri-bakteri anaerobik yang termasuk dalam golongan ini adalah bacteroides, clostridia, bifidobacteria, sedangkan jenis bakteri fakultatif adalah enterobacteriaceae dan streptococci. Pada awal proses penguraian aerob, bahan - bahan seperti polisakarida, lemak dan protein dihidrolisa oleh enzim ekstraseluler yang dihasilkan oleh bakteri. Gula dan asam - asam amino yang terbentuk kemudian difermentasikan menjadi asam asetat, propionat, butirat, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> dan laktat. Konsentrasi H<sub>2</sub> memegang peranan penting di dalam mengontrol keberhasilan bakteri acetogen.

#### 2.4.2. Bakteri acetogen penghasil hidrogen (H<sub>2</sub>)

Hingga tahun 1972 diduga bahwa bakteri metanasi mengolah secara langsung produk dari asidifikasi. Tetapi Bryant dkk menunjukkan bahwa methabobacillus omelianskii bukanlah biakan murni, melainkan mixed-culture yang mengandung dua macam spesies. Reaksi pembentukan metana dari etanol:



Spesies pertama dari mixed-culture tersebut mengoksidasi etanol menjadi asetat dan hidrogen menurut reaksi:



Bakteri kedua di dalam mixed-cultured tersebut adalah metanogen yang tidak dapat mengolah etanol tetapi mengolah H<sub>2</sub> berdasarkan reaksi:



Propionat, asam lemak berantai panjang, alkohol, beberapa senyawa aromatik seperti benzoat dan asam-asam organik lainnya diproduksi oleh bakteri acetogen dan juga didegradasi oleh bakteri

acetogen bersama-sama dengan bakteri metanogen. Degradasi propionat menurut reaksi:



Bakteri-bakteri yang terlibat dalam proses ini adalah syntrophobacter wolinii (untuk mendegradasi propionat menjadi asam asetat, CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>) dan synthrophomonas wolfii mengoksidasi asam lemak bersama dengan bakteri pengguna H<sub>2</sub>.

Bakteri metanasi

Bakteri jenis ini harus berada dalam kondisi yang benar-benar anaerobik. Sebagian besar spesies-spesiesnya mengoksidasi H<sub>2</sub> dan mengurangi CO<sub>2</sub> agar menghasilkan metana dalam jumlah besar.

### 3. Metode Penelitian

Dalam upaya mencapai tujuan penelitian, sejumlah kegiatan dan sub-kegiatan riset akan dijalankan secara simultan dan berurutan. Setiap kejadian, respon dan hasil yang diperoleh selama menjalankan riset dicatat dalam *logbook* dan didokumentasi dengan bantuan komputer untuk menjamin akuntabilitas hasil penelitian.

### 3.1. Perangkat Pengujian

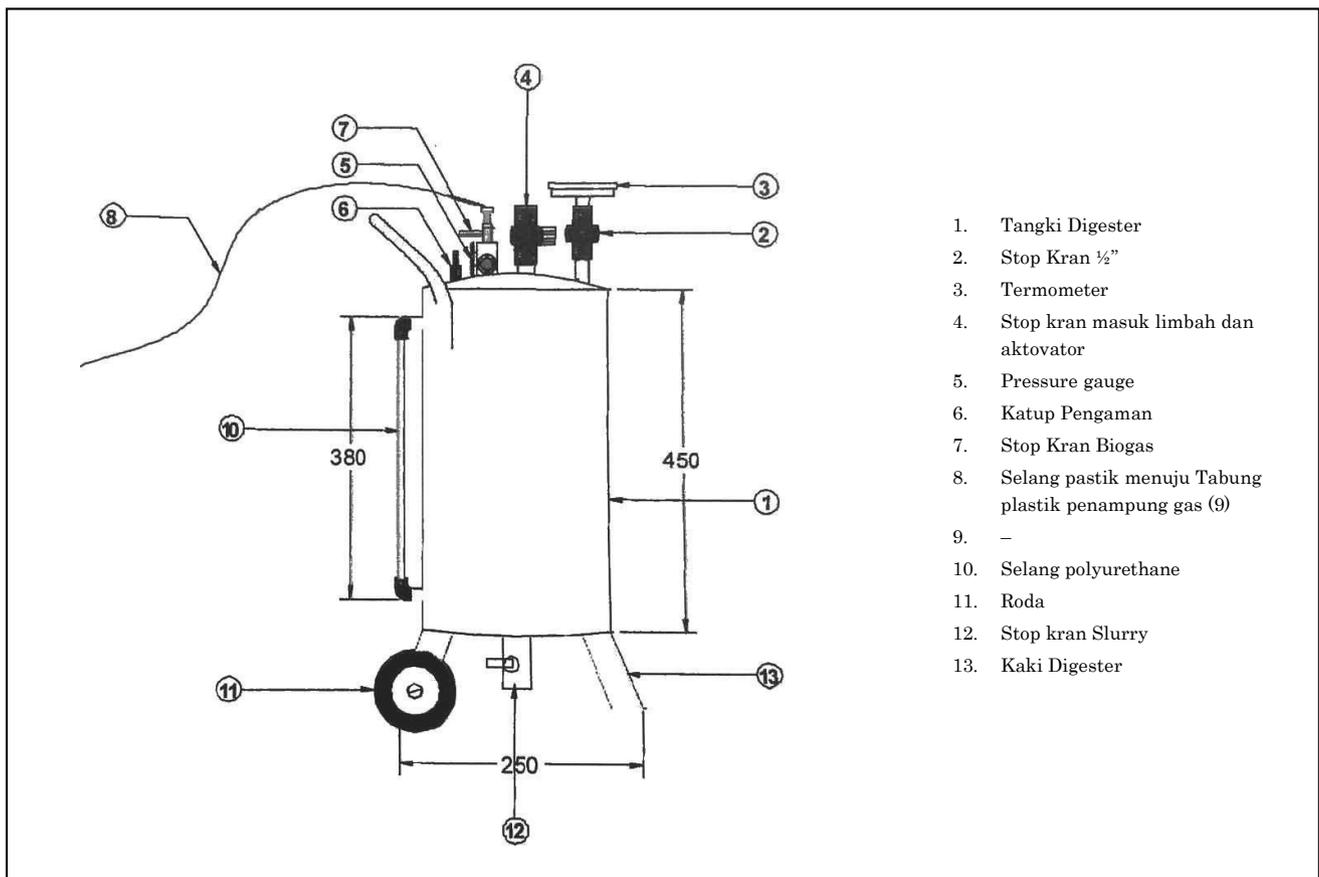
Fokus utama penelitian ini adalah pada pembuatan digester kapasitas 20 liter seperti terlihat pada Gambar 2.

#### 3.1.1. Prosedur Penelitian

Penelitian utama dilakukan dengan melakukan pencampuran antara (LCPKS) dan kotoran sapi dengan perbandingan 90%:10%, 80%:20%, dan 70%:30%. Kotoran sapi terlebih dahulu dicampur dengan limbah cair biogas untuk menghasilkan aktivator. Bahan baku masukan biogas didapat dengan mencampurkan LCPKS, aktivator, dan CaCO<sub>3</sub> yang digunakan untuk meningkatkan pH, kemudian campuran dimasukkan ke dalam digester. Pada penelitian besaran yang diukur beberapa peubah yang dinilai memiliki pengaruh penting bagi produksi biogas. Pengukuran peubah tersebut, antara lain :

#### 3.1.2. Pengukuran Suhu

Pengukuran suhu dilakukan setiap hari, yaitu dengan terlebih dahulu dilakukan pengadukan pada digester agar substrat merata, perubahan temperature dikukur engunakan termokopel dan tampilan hasil pengukuran ditunjukkan pada digital thermometer. Pencatatan dilakukan setiap 30 meneit.



1. Tangki Digester
2. Stop Kran ½"
3. Termometer
4. Stop kran masuk limbah dan aktovator
5. Pressure gauge
6. Katup Pengaman
7. Stop Kran Biogas
8. Selang plastik menuju Tabung plastik penampung gas (9)
9. -
10. Selang polyurethane
11. Roda
12. Stop kran Slurry
13. Kaki Digester

3.1.3. Pengukuran pH

Pengukuran pH dilakukan setiap hari. Sebelum dilakukan pengukuran pH, terlebih dahulu dilakukan pengadukan agar homogen. Hal ini karena pada proses anaerob, setiap lapisan yang terbentuk memiliki pH yang berbeda.

3.1.4. Nilai Volatile Solid, Kandungan Nitrogen dan Kandungan Karbon

Pengukuran Nilai Volatile Solid didasarkan pada standar APHA ed 21th 2540E, 2005, pengukuran Kandungan Nitrogen dengan Metode Kjeldahl standar APHA ed. 21th 4500-Norg C,2005 dan pengukuran Kandungan Karbon menggunakan standar JICA, 1978. Seluruh pengujian tersebut akan dilakukan menggunakan alat uji Gas Chromatography (GC) yang ada di Laboratorium Teknik Kimia Unsyiah

3.1.5. Produksi Gas

Produksi gas diketahui dengan mengukur laju alir gas menggunakan gas flowmeter.

3.1.6. Analisis Data

Analisis dilakukan secara diskriptif. Produksi gas dianalisis dengan Analisis Regresi Linier, yang terdiri atas dua peubah, yaitu peubah bebas (X) dan peubah tak bebas (Y). Waktu perombakan bahan organik termasuk dalam peubah bebas (X), sedangkan produksi gas termasuk dalam peubah tak bebas (Y). Analisis regresi ini dilakukan dengan bantuan software Minitab 14 Data Analysis. Persamaan umum Regresi adalah:

$$Y = \alpha X + \beta \tag{1}$$

Keterangan:

Y = peubah tak bebas (produksi gas dan nilai pH)

$\alpha$  = koefisien regresi X terhadap Y

$\beta$  = konstanta

X = peubah bebas (waktu)

Penghitungan nilai  $\alpha$  dan  $\beta$  dapat dilakukan dengan rumus sebagai berikut:

$$\alpha = \frac{n \sum XiYi - (\sum Xi)(\sum Yi)}{n \sum Xi^2 - (\sum Xi)^2} \tag{2}$$

$$\beta = \frac{(\sum Yi)(\sum Xi^2) - (\sum Xi)(\sum XiYi)}{n \sum Xi^2 - (\sum Xi)^2} \tag{3}$$

Analisis Regresi Linear memiliki nilai Koefisien Korelasi (R) yang menunjukkan keeratan hubungan linear antara peubah bebas (X) dan peubah tak bebas (Y). Selain itu, analisis ini juga memiliki nilai Koefisien Determinan (R<sup>2</sup>) yang menunjukkan ukuran

proporsi keragaman total pada nilai peubah tak bebas (Y) yang dapat dijelaskan oleh nilai peubah bebas (X) melalui hubungan linear. Persamaan umum untuk mengetahui nilai R adalah :

$$R = \frac{n \sum XiYi - (\sum Xi)(\sum Yi)}{\sqrt{[n \sum Xi^2 - (\sum Xi)^2][n \sum Yi^2 - (\sum Yi)^2]}} \tag{4}$$

Hipotesis yang diuji dengan Analisis Regresi Linier adalah pengaruh waktu perombakan bahan organik (X) terhadap produksi gas (Y) pada setiap perlakuan:

H0 = Waktu perombakan bahan organik (X) tidak berpengaruh nyata terhadap produksi gas (Y)

H1 = Waktu perombakan bahan organik (X) berpengaruh nyata terhadap produksi gas (Y)

4. Hasil Dan Pembahasan

4.1. Analisis Awal Bahan Baku Produksi Biogas

4.1.1. Analisis LCPKS

Sebelum dilakukan pencampuran lebih lanjut dengan aktivator dari feses sapi potong, Palm Oil Mill Effluent (POME) terlebih dahulu dianalisis untuk mengetahui kandungan yang ada di dalamnya. Hasil analisis POME sebagai bahan baku pembuatan biogas dapat dilihat secara lengkap pada Tabel 4. 1.

Tabel 5. Komposisi kimia bahan baku LCPKS Cot Girek

Parameter	Nilai
pH	5,32
Total Volatile Solids (TVS)	0,527%
C organik	22.435 mg/l
N total	501 mg/l
C/N	44,78
Asetat	55,78 ppm
Laktat	39,43 ppm

Sumber : Laboratorium Kimia Universitas Syiah Kuala (Mitra)

Hasil analisis menunjukkan bahwa POME memiliki kandungan TVS sebesar 0,527% atau 5.270 mg/l, dimana nilai ini lebih rendah dari nilai TVS yang dikemukakan oleh [27] yaitu sebesar 34.000 mg/l. Selain itu, rasio C/N pada POME dinilai cukup tinggi yaitu sebesar 44,78. Rasio C/N yang tinggi mengindikasikan terjadinya kekurangan nitrogen pada substrat. Kekurangan N dapat menghambat pembentukan protein yang diperlukan mikroba untuk tumbuh [28]. Oleh karena itu diperlukan tambahan bahan organik lain dengan kandungan N relatif lebih tinggi yang diharapkan mampu menurunkan rasio C/N pada POME. Dalam hal ini diambil kotoran sapi sebagai bahan tambahan sekaligus sebagai aktivator.

#### 4.1.2. Analisis Kotoran Sapi

Kotoran sapi potong merupakan bahan organik yang mengandung tiga komponen penting yaitu karbohidrat, protein, dan lemak. Ketiganya merupakan unsur penting dalam produksi biogas, karena dapat dikonversi menjadi volatile fatty acids (VFA) untuk dijadikan gas metana ( $\text{CH}_4$ ). Selain itu, kotoran sapi memiliki mikroba pembentuk metan yang secara alami telah ada di rumen yang merupakan salah satu bagian dari organ pencernaan hewan ruminansia. Kotoran sapi juga memiliki rasio C/N yang lebih rendah dari POME, sehingga dapat menurunkan rasio C/N pada POME yang terlalu tinggi. Kondisi inilah yang membuat kotoran sapi berpotensi dijadikan sebagai aktivator dalam pembuatan biogas.

POME banyak mengandung asam lemak asetat dan laktat. Senyawa tersebut merupakan senyawa yang dapat dikonversi menjadi  $\text{CH}_4$  (metana). Namun, lemak sangat sulit terhidrolisa dan dapat menjadi pembatas laju keseluruhan hidrolisis. Lemak juga dapat menghambat proses perombakan anaerob. Senyawa ini memiliki asam lemak rantai panjang dalam jumlah berlebihan dan dapat menghambat kerja mikroba pembentuk biogas [22].

#### 4.1.3. Analisis Bahan Campuran Pembentukan Biogas

Bahan masukan biogas merupakan campuran yang terdiri atas POME dan aktivator dari kotoran sapi lokal. Analisis dilakukan untuk mengetahui nilai pH, TVS, C Organik, Nitrogen, dan rasio C/N. Hasil analisis campuran antara POME dan aktivator dapat dilihat pada Tabel 6.

**Tabel 4 2. Hasil Analisis Campuran antara POME dan Aktivator**

Parameter	Satuan	Hasil Pemeriksaan		
		P90S10	P80S20	P70S30
pH		5	6	5,67
Total Volatile Solids (TVS)	%	2,56	3,77	3,62
C Organik	mg/l	14.400	20.500	19.600
Nitrogen	mg/l	646,80	672,41	660,60
C/N		22,26	30,48	29,67

Sumber: ref [13]

Terlihat bahwa rasio C/N pada POME yang telah dicampur dengan aktivator mengalami penurunan, apabila dibandingkan dengan rasio C/N pada POME murni. Hal ini karena kotoran sapi potong memiliki C/N sebesar 18 (Stafford et al., 1980), sehingga mampu menurunkan kandungan C/N pada POME. Limbah peternakan umumnya memiliki kandungan nitrogen (N) lebih tinggi dibandingkan kadar karbon (C), sedangkan limbah pertanian memiliki kadar C lebih tinggi dari kadar N. Apabila kedua limbah tersebut dicampurkan maka dapat menghasilkan rasio C/N yang lebih baik untuk produksi biogas [29].

Rasio C/N dari bahan organik menentukan aktivitas mikroorganisme dalam memproduksi biogas. Hal ini karena rasio C/N terkait pada kebutuhan nutrisi mikroba. Rasio C/N yang optimal adalah antara 20:1 dan 30:1 (Stafford et al., 1980). Apabila

rasio C/N lebih besar dari 30, maka unsur C berlebih, sedangkan unsur N sedikit, maka saat fermentasi berlangsung N telah habis untuk memenuhi kebutuhan mikroba dan akan diikuti dengan menurunnya produksi biogas. Rasio C/N dari yang paling optimal ke kurang optimal, yaitu P90S10 (22,26), P70S30 (29,67), dan P80S20 (30,48). Hasil tersebut mengindikasikan bahwa P90S10 memiliki potensi paling besar untuk menghasilkan biogas dengan volume terbanyak bila dibandingkan dengan perlakuan P80S10 dan P70S30.

Analisis kandungan TVS awal pada bahan masukan biogas menunjukkan bahwa kandungan TVS mengalami peningkatan. Kandungan TVS pada bahan baku POME sebesar 0,425%, sedangkan setelah dilakukan pencampuran dengan kotoran sapi potong maka kandungan TVS meningkat. P80S20 memiliki kandungan TVS tertinggi yaitu sebesar 3,77%, diikuti dengan P70S30 sebesar 3,62% dan P90S10 sebesar 2,56%. Lumpur kotoran sapi memiliki kandungan volatile solids (VS) sebesar 7585% (Harikishan, 2008). Hal inilah yang membuat kandungan TVS mengalami peningkatan. Kandungan TVS dipengaruhi oleh jumlah bahan organik yang terkandung di dalam bahan masukan. Semakin banyak bahan organik yang terkandung di dalamnya, maka semakin tinggi pula VFA yang diproduksi. VFA yang terlalu tinggi akan mempengaruhi nilai pH. Apabila pH terganggu, maka dapat menghambat aktivitas bakteri pembentuk metana (Gerardi, 2003).

#### 4.2. Ketercapaian Suhu di Dalam Digester

Suhu memiliki pengaruh penting terhadap laju perombakan bahan organik menjadi biogas. Pengaruh ini terutama berkaitan dengan aktivitas dan laju pertumbuhan mikroba di dalam digester. Pengukuran suhu penting dilakukan setiap hari untuk mengetahui kondisi di dalam digester. Suhu yang ideal sebaiknya dicatat selama 40 hari penelitian.

Kisaran suhu di dalam digester yang dicapai digester dengan komposisi P90S10 berada di antara 25,83-27,5 oC. Digester dengan perlakuan P80S20 memiliki suhu berkisar antara 26-27,5 oC, seperti halnya pada P70S30. Besarnya kisaran suhu yang dicapai dipengaruhi oleh suhu ruang, dimana selama penelitian berlangsung tercatat suhu maksimal adalah 27,5 oC. Suhu yang dicapai selama penelitian berada di bawah suhu mesophilik (30-40 oC), hal ini tidak berpengaruh pada terjadinya proses metanogenesis karena proses metanogenesis masih dapat terjadi bahkan pada suhu  $\leq 4$  oC (Price et al., 1981).

#### 4.3. Nilai pH

Perubahan nilai pH diperlukan untuk memperlihatkan bahwa kisaran nilai pH pada perlakuan ini tetap berada dalam rentang 5,0-7,0. Nilai ini merupakan nilai optimal yang dibutuhkan oleh bakteri pembentuk metana untuk dapat terus hidup. pH cenderung mengalami penurunan dari hari ke hari. Penurunan pH ini menunjukkan tingginya konsentrasi asetat yang dapat menghambat perombakan [21].

Kisaran nilai pH pada P80S20 adalah 5,0-6,7. Kisaran pH yang rendah menunjukkan bahwa pada perlakuan ini proses pembentukan asam masih terjadi. Selama penelitian berlangsung terlihat bahwa terjadi penurunan nilai pH yang drastis pada hari ke-25. Penurunan pH secara tiba-tiba menandakan terjadinya gangguan pada proses fermentasi [28].

Pada campuran P80S20, perlakuan ini juga mengalami penurunan pH yang drastis. Hal ini menandakan bahwa jumlah bahan masukan yang diumpankan ke dalam digester terlalu banyak, sehingga produksi asam akan berlimpah. Kondisi ini menyebabkan mikroba tidak mampu mendegradasi asam yang terlalu banyak menjadi metana. Langkah-langkah yang dapat dilakukan untuk mengatasinya, antara lain menghentikan pengumpanan bahan masukan, sehingga bakteri metanogenik dapat mendegradasi asam, menambahkan substansi penetral (buffer), menambah waktu tinggal, melakukan penambahan air, dan mengosongkan serta mengulangi proses dari awal [28].

#### 4.4. Kandungan Total Volatile Solids (TVS) Akhir

Total Volatile Solids (TVS) dapat diartikan sebagai jumlah padatan organik yang berpotensi untuk dikonversi menjadi biogas. Semakin banyak jumlah TVS yang tereduksi maka semakin banyak pula biogas yang dihasilkan. Oleh karena itu, dilakukan analisis kembali untuk mengetahui kandungan TVS pada ke-40, dan karena peneliti masih terus berlangsung, hasil belum dapat dianalisis.

#### 4.5. Produksi Biogas

Produksi biogas merupakan hasil dari proses perombakan bahan organik secara anaerob. Produksi gas dari POME dengan penambahan kotoran sapi potong sebagai aktivator dapat dilihat pada Tabel 8.

**Tabel 6. Hasil Pengukuran Produksi Biogas pada Setiap Komposisi**

Perlakuan (POME : Aktivator)	Waktu Pengamatan (Hari)	Volume Gas (Liter)
90 : 10	20	0,99 ± 1,52
80 : 20	20	0,79 ± 1,32
70 : 30	20	0,82 ± 1,02

Produksi gas diukur menggunakan alat gas flowmeter dan stopwatch. Gas flowmeter merupakan alat untuk mengetahui laju alir gas dengan satuan liter/menit, sedangkan untuk mengetahui produksi gas per hari dilakukan pengalihan antara hasil pengukuran gas flowmeter dan waktu yang tercatat oleh stopwatch.

Pada sepuluh hari pertama tidak tampak adanya pembentukan gas. Adanya gas mulai terlihat pada hari ke-11 yang secara perlahan jumlahnya meningkat hingga hari ke-20. Namun demikian komposisinya masih didominasi oleh gas non metan, karena api tidak dapat menyala. Jumlah gas yang diproduksi ini mengalami penurunan pada hari ke-20 Biogas setidaknya mengandung 45% metana agar dapat menghasilkan nyala api [28]. Jika P90S10 dapat mencapai pH netral maka diperkirakan dapat

mempercepat proses perombakan bahan organik, sehingga dapat mempercepat terjadinya perombakan yang secara tidak langsung dapat meningkatkan produksi biogas [21].

Selain pH, rasio C/N juga mempengaruhi produksi biogas. Rasio C/N dari bahan organik menentukan aktivitas mikroorganisme dalam memproduksi biogas. Rasio C/N yang optimal adalah antara 20:1 dan 30:1 (Stafford et al., 1980). Nilai rasio C/N pada P90S10 yaitu 22,26

Pada komposisi P80S20 pH berkisar antara 5,06,7. Rendahnya nilai pH pada perlakuan P80S20 karena fase asidogenesis yang masih berlangsung. Fase asidogenesis menghasilkan asam lemak terbang yang dapat menurunkan nilai pH (Gerardi, 2003). Nilai pH pada fase asidogenesis dapat mengalami penurunan hingga hanya bernilai 3,2, sedangkan pH pada fase metanogenesis berada di kondisi stabil yaitu antara 7,2-7,4, dimana hal ini normal terjadi pada proses anaerobik (Li et al., 2009).

Pada P70S30 gas mulai diproduksi pada hari ke-3, namun pada saat dilakukan uji bakar maka api padam. Hal ini menunjukkan masih tingginya kadar CO<sub>2</sub> pada digester. Pengamatan hari ke-5 terjadi letupan kecil pada saat dilakukan uji bakar, mungkin telah terdapat kandungan metana pada digester ini walaupun dalam jumlah kecil. Hal ini menunjukkan adanya metana walaupun jumlahnya belum cukup untuk melakukan pembakaran.

Meskipun P70S30 tercatat lebih awal dalam menghasilkan metana, namun total produksi biogas yang dihasilkan oleh perlakuan ini menempati kedudukan kedua setelah P90S10 yaitu sebesar 1,77 liter. pH yang maksimal dicapai oleh perlakuan ini sebesar 6,7, seperti halnya dengan P80S20, nilai pH yang rendah pada perlakuan ini disebabkan oleh masih terjadinya proses asidogenesis. Proses ini masih berlangsung karena digester yang digunakan bersifat kontinyu, dimana dilakukan pengisian setiap hari selama pengamatan berlangsung. Selain itu, rasio C/N pada P70S30 berada di urutan kedua setelah P90S10.

Produksi biogas pada penelitian ini dinilai masih sedikit. Produksi yang belum optimal ini disebabkan oleh ketidakseimbangan yang terjadi pada proses anaerobik. Ketidakseimbangan tersebut disebabkan oleh beban hidraulik yang berlebihan. Kondisi ini terjadi jika waktu tinggal dalam perombakan anaerob lebih singkat dibandingkan laju pertumbuhan bakteri. Selain itu, pada kondisi ini terjadi penumpukan bahan organik berlebihan yang menyebabkan bakteri tidak mampu memecah senyawa organik, sehingga proses perombakan anaerob akan terganggu [21]. Hal ini terjadi pada proses pengumpanan bahan masukan biogas yang dilakukan selama 40 hari penelitian. POME merupakan limbah cair organik tinggi kandungan lemak yang membutuhkan waktu lama untuk terhidrolisis [22]. Kotoran sapi mengandung sejumlah komponen yang sulit terdegradasi, seperti selulosa dan lignin, maka membutuhkan waktu lama untuk terhidrolisis pada fase pertama (Li et al., 2009). Apabila keduanya dijadikan sebagai bahan masukan maka diperlukan waktu tinggal lebih lama agar bahan-bahan tersebut dapat terhidrolisis, sehingga waktu tinggal selama 40 hari dinilai belum cukup untuk memproduksi biogas. Biogas yang terbuat dari POME dengan penambahan inokulum kotoran sapi sebesar 10% memproduksi 64,5 liter biogas selama 12 minggu percobaan (84 hari) di kondisi

suhu dan tekanan rumah kaca [21]. Digester yang digunakan dalam penelitian tersebut merupakan digester sistem batch berkapasitas 15 liter. Selain itu, pengumpulan kotoran sapi potong setiap hari ke dalam digester memberikan hasil yang kurang optimal pada produksi biogas. Hal ini karena kotoran sapi memiliki mikroorganisme yang membutuhkan waktu untuk menyesuaikan diri pada lingkungan dengan konsentrasi lemak tinggi. Ketidakseimbangan juga terjadi karena bahan beracun yang telah ada dalam biomasa atau senyawa yang dihasilkan selama proses fermentasi anaerob. Fermentasi dapat menjadi lambat jika biomas mengandung konsentrasi lemak yang tinggi. Hal ini karena lemak dapat didegradasi menjadi senyawa beracun, yaitu asam lemak rantai panjang [21].

Salah satu faktor yang berpengaruh pada perombakan anaerob, yaitu pengadukan. Selama penelitian berlangsung, proses pengadukan dilakukan secara manual dengan pengaduk yang telah tersedia di dalam digester. Teknik ini kurang efektif karena pengadukan secara manual akan menghasilkan frekuensi pengadukan yang tidak konsisten. Bahan masukan biogas sebaiknya diaduk untuk menghindari terbentuknya endapan dan skum. Apabila bahan masukan lebih homogen maka perombakan akan berlangsung lebih sempurna [21].

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] WPOP, "World Palm Oil Production 2014/2015," <http://www.worldpalmoilproduction.com>, 2014. [Online]. Available: <http://www.worldpalmoilproduction.com/default.asp>.
- [2] Ade, "Rekomendasi Teknis Terkait Pembangunan Pabrik Kelapa Sawit (PKS)," [ditjenbun.pertanian.go.id](http://ditjenbun.pertanian.go.id), 2013. [Online]. Available: <http://ditjenbun.pertanian.go.id/pascapanen/berita-212-rekomendasi-teknis-terkait-pembangunan-pabrik-kelapa-sawit-pks.html>.
- [3] Pdj, "Indonesia mencanangkan program nasional untuk merubah kelapa sawit menjadi green commodity," [ditjenbun.pertanian.go.id](http://ditjenbun.pertanian.go.id), 2014. [Online]. Available: <http://ditjenbun.pertanian.go.id/pascapanen/berita-221-indonesia-mencanangkan-program-nasional-untuk-merubah-kelapa-sawit-menjadi-green-commodity.html>.
- [4] P. Siregar, "Produksi Biogas Melalui Pemanfaatan Limbah Cair Pabrik Minyak Kelapa Sawit," 2009.
- [5] Kementan, "Mitigasi dan Adaptasi Emisi Gas Rumah Kaca pada Pengembangan Kelapa Sawit," [ditjenbun.pertanian.go.id](http://ditjenbun.pertanian.go.id), 2014. [Online]. Available: <http://ditjenbun.pertanian.go.id/pascapanen/berita-218-mitigasi-dan-adaptasi-emisi-gas-rumah-kaca-pada-pengembangan-kelapa-sawit.html>.
- [6] BPS Provinsi Aceh, "Aceh Dalam Angka," Banda Aceh, 2013.
- [7] Mahidin, I. Machdar, M. Faisal, Kemalhayati2, Hamdani, Khairil, and S. Rizal, "Mapping and Analysis of Palm Oil Mill Effluent as an Alternative Energy Source and Opportunity for Green House Gases Reduction," *J. Energy Environ.*, vol. 4, pp. 38–42, 2012.
- [8] G. Tchobanoglous and F. Kreith, *Handbook of Solid Waste Management*, 2nd Editio., vol. 13, no. 6. New York: McGraw-Hill, 2002, p. 834.
- [9] K. Tsurusaki and H. Wahyudi, *Panduan Penanganan Air Limbah di Pabrik PKS: Sebagai Hasil Studi Kebijakan Bersama Indonesia – Jepang (2011 – 2013)*, no. November. Jakarta, Indonesia: Kementerian Lingkungan Hidup, 2013, pp. 1–111.
- [10] S. Hardjo, *Biokonversi Pemanfaatan Limbah Industri Pertanian*. Bogor: Departemen Pendidikan dan Kebudayaan Direktorat jendral Pendidikan Tinggi Pusat Antar Universitas Pangan dan Gizi, Institut Pertanian Bogor, 1989.
- [11] N. P. Cheremisinoff., *Handbook of Solid Waste management and Waste Minimization Technologies*. Burlington, MA: Elsevier Science (USA), 2003, p. 491.
- [12] N. F. Fatimah, "Pengaruh pengurangan konsentrasi Trace Metal (Nikel dan Kobalt) pada Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit Secara Anaerobik Termofilik Terhadap Produksi Biogas," Universitas Sumatera Utara, 2012.
- [13] A. I. K., *Seluk Beluk Mengenai Kotoran Sapi Serta Manfaat Praktisnya*. Bogor: Fakultas Peternakan, Institut Pertanian Bogor, 1988.
- [14] S. Hardjowigeno, *Ilmu Tanah*. Jakarta: Akademika Presindo, 2003.
- [15] I. Sucipto, "Biogas Hasil Fermentasi Hidrolisat Bagas Menggunakan Konsorsium Bakteri Termofilik Kotoran Sapi," Institut Pertanian Bogor, 2009.
- [16] K. Y. Foo and B. H. Hameed, "Insight into the applications of palm oil mill effluent: A renewable utilization of the industrial agricultural waste," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 14, no. 5, pp. 1445–1452, Jun. 2010.
- [17] P. M. Naibaho, *Teknologi Pengolahan Kelapa Sawit*. Medan: Pusat Penelitian Kelapa Sawit, 1996.
- [18] R. Budiarto and A. Agung, *Potensi Energi Limbah Pabrik Kelapa Sawit*. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada, 2019.
- [19] S. Mangoensoekarjo and H. Semangun, *Manajemen Agrobisnis Kelapa Sawit*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 2005.
- [20] K. Y. Foo and B. H. Hameed, "Insights into the modeling of adsorption isotherm systems," *Chem. Eng. J.*, vol. 156, no. 1, pp. 2–10, Jan. 2010.
- [21] Mahajoeno, L. Edwi, W. Bibiana, Sutjahjo, Suryoehadi, and Siswanto, "Potensi Limbah Cair Pabrik Minyak Kelapa Sawit untuk Produksi Biogas," *J. Bioversitas*, vol. 9, 2008.
- [22] A. Ahmad, "Penentuan Parameter Kinetika Proses Biodegradasi Anaerob Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit," *J. Natur Indones.*, vol. 6, no. 1, pp. 45–48, 2003.
- [23] D. H. Goenadi, "Berburu Energi di Kebun Sawit," *Harian Republika*, Jakarta, 2006.
- [24] Isroi, "Energi Terbarukan Dari Limbah Pabrik Kelapa Sawit | Berbagi Tak Pernah Rugi on WordPress.com," *Isroi.com*, 2008. [Online]. Available: <http://isroi.com/2008/02/25/energi-dari-limbah-sawit/>.

- 
- [25]P. L. Tobing, *Minimalisasi dan Pemanfaatan Limbah Cair – Padat Pabrik Kelapa Sawit dengan Cara daur Ulang*. MEDan: Pusat Penelitian Kelapa Sawit., 1997.
- [26]R. Manurung, “Proses Anaerobik sebagai Alternatif untuk Mengolah Limbah Sawit,” USU Repos., 2004.
- [27]L. yu Lang, “Treatability of Palm Oil Mill Effluent (POME) Using Black Liquor in an Anaerobic Treatment Process,” Universiti Sains Malaysia, 2007.
- [28]D. Deublein and A. Steinhauser, *Biogas from Waste and Renewable Resources: An Introduction*. John Wiley & Sons, 2011, p. 578.
- [29]A. Wellinger, “Process Design of Agricultural Digesters,” Ettenhausen, 1999.

TAR