

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kajian Teoritis

Penelitian tentang biogas dengan berbagai variasi perbandingan bahan baku tandan kosong kelapa sawit dengan menggunakan *starter* kotoran sapi sebelumnya pernah dilakukan oleh Purwanto, (2012). Pada proses penelitian tersebut terdapat 2 jenis bahan baku yang berbeda dengan *starter* yang sama dengan variasi perbandingan bahan baku yang berada. Pada penelitian ini proses dekomposisi anaerobik di dalam digester selama 30 hari dengan menggunakan metode percobaan yang disusun dalam Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan rancangan percobaan faktor tunggal yang terdiri dari 4 perlakuan yaitu A tandan kosong kelapa sawit : kotoran sapi : air (2 : 1 : 4,5), B tandan kosong kelapa sawit : kotoran sapi : air (2 : 0,5 : 3,75), C limbah jamur merang : kotoran sapi : air (2 : 1 : 4,5), D limbah jamur merang : kotoran sapi : air (2 : 0,5 : 3,75). Dari hasil penelitian tersebut didapatkan hasil perlakuan yang paling optimal produktivitas biogasnya yaitu terdapat pada perlakuan B (tandan kosong kelapa sawit : kotoran sapi : air dengan perbandingan 2: 0,5: 3,75), dengan waktu retensi 20,90 hari sedangkan tekanan biogas sebesar 102553,75 N/m².

Penggunaan limbah cair rumen sebagai pembentukan biogas sebelumnya dilakukan oleh Gamayanti, dkk (2012), pada penelitian tersebut dengan penambahan limbah cairan rumen dapat menghasilkan kadar metan yang lebih tinggi (mencapai 53%) dengan volume \pm 405,5 ml dalam waktu 40 hari, hal ini menunjukkan bahwa penambahan limbah cairan rumen memberikan dampak positif terhadap pembentukan biogas maupun kadar gas metan. Penelitian yang dilakukan terdiri dari 3 macam perlakuan, yaitu tanpa inokulum, dengan penambahan inokulum limbah cairan rumen sebesar 25%, dan dengan penambahan inokulum lumpur gambut sebesar 25%. Setiap perlakuan terdiri dari 3 ulangan, dengan pengamatan 0; 10; 20; 30; dan 40 hari. Pada akhir fermentasi dilakukan uji gas metan. Data yang diperoleh dianalisis variansi menggunakan pola split plot untuk pengamatan pengukuran volume biogas, konsentrasi gas

metan, produksi metan, pengamatan temperatur *sludge digester* dan derajat keasaman (pH). Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai pH dan suhu menunjukkan perbedaan yang tidak nyata. Volume biogas menunjukkan hasil yang nyata ($P < 0,05$) dengan nilai rata sebesar 228,67 ml tanpa inokulum, 229,65 ml dengan inokulum cairan rumen, 358,25 ml dengan inokulum lumpur gambut dan sampai hari ke-40 mengalami kenaikan. Nilai kadar metan menunjukkan hasil yang nyata ($P < 0,05$) dengan nilai rata sebesar 35,91% tanpa inokulum, 35,74% dengan inokulum cairan rumen, 38,52% dengan inokulum lumpur gambut dan sampai hari ke-40 mengalami kenaikan. Produksi metan yang dihasilkan menunjukkan perbedaan yang nyata ($P < 0,05$) dengan nilai rata sebesar 91,15 ml tanpa inokulum, 119,36 ml dengan inokulum cairan rumen, 150,62 ml dengan inokulum lumpur gambut dan sampai hari ke-40 mengalami kenaikan. Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa penambahan limbah cairan rumen dan lumpur aktif gambut hingga 25% dapat mempercepat proses fermentasi.

Selain penelitian yang dilakukan oleh Gamayanti,(2012), hasil penelitian lain yang dilakukan secara anaerobik menggunakan rumen juga dilakukan Saputro, Dkk (2009), dan hasil menunjukkan bahwa variabel A (feses dan air) dengan rasio 1:3 menghasilkan biogas paling banyak dibandingkan rasio yang lainnya, variabel B (feses dan rumen) dengan rasio 1:2 menghasilkan biogas paling banyak dibandingkan dengan rasio yang lainnya, variabel C (feses, air, dan rumen) dengan rasio 1:1:1 menghasilkan biogas paling banyak dibandingkan dengan rasio yang lainnya. Produksi biogas tertinggi rata-rata terjadi pada hari ke 23.

Dari hasil penelitian yang menjadi acuan dapat diambil kesimpulan bahwa, penggunaan limbah tandan kelapa sawit dapat menghasilkan produktivitas biogas yang baik, dan penambahan rumen sebagai pembentuk biogas dapat meningkatkan kadar metana pada kandungan biogas. Namun dari hasil penelitian sebelumnya belum menunjukkan perbandingan komposisi optimal untuk menghasilkan biogas

2.2. Dasar Teori

2.2.1 Biomassa

Biomassa merupakan salah satu material yang dapat menghasilkan sumber energi terbarukan yang berasal dari makhluk hidup yang dapat diuraikan sehingga menghasilkan energi yang mampu untuk digunakan lagi. Umumnya biomassa merujuk pada tumbuhan dan hewan yang digunakan untuk menghasilkan energi terbarukan. Selain itu biomassa juga dapat juga meliputi limbah-limbah yang berasal dari berbagai sektor seperti sektor pertanian, perindustrian, dan peternakan. Sedangkan biomassa itu sendiri tidak mencakup material organik yang telah tertransformasi oleh proses geologis menjadi zat seperti batu bara dan minyak bumi. Pada hakikatnya energi ini bersumber dari energi sinar matahari. Dalam prosesnya, sinar matahari diterima oleh tanaman, dan melalui kandungan klorofil pada daun, dengan bantuan energi sinar matahari, terjadilah reaksi kimia yang disebut dengan proses fotosintesis. Dalam proses fotosintesis ini, tanaman menyerap gas CO_2 dari air serta H_2O (air) dari tanah, dan mengubahnya menjadi glukosa/karbohidrat, gas O_2 , serta sebagai senyawa kimia hidro-karbon lain yang terdiri dari elemen Carbon (C), hidrogen (H), serta Oksigen (O). Dari hasil resapan dari tanaman tersebut maka energi dari matahari tersebut tersimpan dan tersedia dalam jaringan tubuh makhluk hidup untuk dapat menghasilkan energi lagi, (Nugraha, 2012).

Agar biomassa bisa digunakan sebagai bahan bakar maka diperlukan teknologi untuk mengkonversinya. Secara umum teknologi konversi biomassa menjadi bahan bakar dapat dibedakan menjadi tiga macam, yaitu: pembakaran langsung, konversi termokimiawi dan konversi biokimiawi. Pembakaran langsung merupakan teknologi yang paling sederhana karena pada umumnya biomassa telah dapat langsung dibakar. Beberapa biomassa perlu dikeringkan terlebih dahulu dan disensifikasi untuk kepraktisan dalam penggunaan. Konversi termokimiawi merupakan teknologi yang memerlukan perlakuan termal untuk memicu terjadinya reaksi kimia dalam menghasilkan bahan bakar. Sedangkan konversi biokimiawi merupakan teknologi konversi yang menggunakan bantuan

2.2.2 Biogas

Biogas merupakan gas yang dihasilkan dari penguraian material biomassa. gas yang dihasilkan dari proses penguraian bahan-bahan organik oleh mikroorganisme dalam kondisi tanpa udara (anaerobik). Prinsip dasar teknologi biogas ini adalah dengan memanfaatkan proses penguraian bahan-bahan organik oleh mikroorganisme dalam kondisi tanpa oksigen (anaerob) untuk menghasilkan campuran dari beberapa gas seperti metana dan CO₂. Biogas dihasilkan dari bantuan bakteri metanogen atau metanogenik. Bakteri ini secara alami terdapat dalam limbah yang mengandung bahan organik, seperti limbah ternak dan dan sampah organik. Pada umumnya biogas terdiri atas gas metana (CH₄) 50% sampai 70%, gas karbon dioksida (CO₂) 30% sampai 40%, hidrogen (H₂) 5% sampai 10%, dan gas-gas lainnya dalam jumlah yang sedikit. Secara umum jumlah energi yang terdapat dalam biogas tergantung pada konsentrasi metana. Semakin tinggi kadungan metana, maka semakin besar kandungan energi (nilai kalor) biogas. Sebaliknya semakin kecil kandungan metana, maka nilai kalorinya semakin kecil (Wahyuni, 2013 b)

Bahan-bahan baku untuk pembuatan biogas itu sendiri berasal dari substrat bahan organik atau sisa-sisa tumbuhan baik yang sudah mengalami dekomposisi maupun masih segar. Namun sebagian besar bahan baku yang digunakan untuk pembuatan biogas merupakan limbah sisa dari aktivitas manusia, seperti limbah industri, limbah peternakan, limbah pertanian, limbah perairan, hingga sampah organik. Dari proses pembentukan biogas ini tidak terlepas dari kinerja mikroorganisme yang berupa bakteri metanogenik yang membantu dari proses fermentasi sampai proses pembentukan biogas. Karakteristik bakteri metanogenik dapat hidup dalam lingkungan anaerobik (tanpa oksigen), umumnya bakteri ini dapat diperoleh dari feses hewan, atau diisolasi dari rumen sapi sebagai *starter* (Wahyuni, 2013 a)

Penambahan bakteri metanogenik ini sendiri bertujuan untuk merombak bahan organik dan mengubahnya menjadi gas metana. Selain itu bakteri ini juga

Tabel 2. 1 Tabel komposisi biogas berdasarkan penelitian.

NO	GAS	Hadi (1981)	Price (1981)
1	Metana (CH ₄)	54 - 70%	65 - 75%
2	Karbondioksida (CO ₂)	27 - 35%	25 - 30%
3	Nitrogen (N ₂)	0,5 - 2,0%	< 0,1%
4	Hidrogen (H ₂)	-	< 0,1%
5	Karbon Monoksida (CO)	0,1%	-
6	Hidrogen Sulfida (H ₂ S)	Rendah	< 0,1%

Sumber : Wahyuni (2013 a)

1. Faktor yang Mempengaruhi Proses Produksi Biogas

Pada proses produksi biogas terdapat beberapa faktor yang sangat berpengaruh yaitu:

1) Digester

Digester adalah tempat terjadinya proses dekomposisi bahan organik oleh mikroba anaerob. Digester memiliki peranan penting dalam menghasilkan biogas secara optimal. Pada dasarnya gas dari biomassa dan kotoran sapi dapat terbentuk di alam bebas melalui proses dekomposisi aerobik secara alami, tetapi membutuhkan waktu yang cukup lama, dan yang terpenting gas tidak dapat tertampung melainkan menguap di udara dan membentuk gas rumah kaca.

Digester dapat dibuat dari beberapa bahan antara lain: drum plat atau plastik, karet, plastik, fiber, semen atau beton dan lain-lain. Pada prinsipnya *digester* harus memenuhi beberapa persyaratan yaitu:

- a. Kondisi digester anaerob (tidak ada oksigen).
- b. Memiliki inlet (saluran pemasukan) dan outlet (saluran pengeluaran limbah dan saluran pengeluaran gas).
- c. Memiliki ruang kosong untuk gas metana.
- d. Harus hangat (suhu 30°C – 40°C).

2) Derajat keasaman (pH)

Mikroba metan sangat sensitif terhadap perubahan pH, untuk pH yang paling efisien dalam batas-batas pH yang berkisar antara

($\text{Ca}(\text{OH})_2$) atau larutan kapur (CaCO_3) sebagai *buffer* (Mahida, 1993 dalam Harahap, 2007). Hal ini dilakukan agar kecepatan perkembangan mikroba tidak merosot dengan sangat cepat.

3) Rasio C/N bahan baku biogas

Rasio C/N merupakan perbandingan kadar karbon (C) dan kadar Nitrogen (N) dalam satuan bahan. Rasio C/N yang terkandung pada bahan organik sangat menentukan kehidupan dan aktivitas mikroorganisme dalam melakukan proses dekomposisi menjadi biogas. Imbangan C/N yang optimum bagi mikroorganisme perombak adalah 25-30. Kotoran (feses dan urine) sapi mempunyai kandungan rasio C/N sebesar 18, dengan demikian perlu ditambah limbah pertanian lain yang memiliki kandungan rasio C/N lebih tinggi (lebih dari 30) (Simamora,dkk, 2006).

4) Kadar air bahan baku

Air berperan sangat penting dalam proses biologis pada pembuatan biogas, dengan demikian kondisi air harus sesuai artinya tidak terlalu banyak dan tidak terlalu sedikit menyesuaikan kandungan bahan kering.

Aktivitas normal dari mikroba metanogenik membutuhkan 90% air dan 7-10% bahan kering dari bahan baku yang akan di fermentasi. Dengan demikian dari proses dekomposisi yang paling banyak menghasilkan biogas adalah yang mengandung 7-9% bahan kering. Untuk kandungan kering seperti yang diharapkan tersebut, maka bahan baku di campur dengan air dengan perbandingan tertentu.

5) Waktu Fermentasi

Produksi biogas sudah terbentuk sekitar 10 hari setelah bahan baku dimasukkan dalam digester. Penambahan waktu dekomposisi dari 10 hari menjadi 30 hari akan meningkatkan produksi biogas sebesar 50% (Hadi, 1990 dalam Purwanto 2012). Pada hari ke-30

nilai maksimal, dan setelah 30 hari tersebut akan menyebabkan penurunan produksi biogas (Sembiring, 2004).

2. Proses Pembentukan Biogas

Menurut Wahyuni (2013 a), pada prinsipnya apabila diuraikan secara terperinci Biogas terbentuk melalui beberapa tahapan yang terjadi dalam ruangan yang anaerob atau tanpa oksigen, ada tiga proses utama yaitu, hidrolisis, asidifikasi (pengasaman), dan metanogenesis.

1) Hidrolisis

Hidrolisis merupakan tahap awal dari fermentasi. Tahap ini merupakan penguraian bahan organik dengan senyawa kompleks yang memiliki sifat lebih mudah larut seperti lemak, protein, dan karbohidrat menjadi senyawa yang lebih sederhana. Pada proses ini menghasilkan beberapa senyawa diantaranya asam organik, glukosa, etanol, CO₂, dan senyawa hidrokarbon lainnya. Senyawa-senyawa pada tahapan ini akan dimanfaatkan oleh mikroorganisme sebagai sumber energi untuk melakukan proses fermentasi.

2) Asidifikasi (Pengasaman)

Senyawa yang terbentuk pada tahapan hidrolisis tadi akan digunakan oleh mikroorganisme sebagai sumber energi untuk pada tahapan selanjutnya, yaitu asidifikasi atau pengasaman. Pada tahapan ini, bakteri akan menghasilkan senyawa-senyawa asam organik, seperti asam asetat, asam propinat, asam butirat, dan asam laktat beserta produk sampingan berupa alkohol, CO₂, hidrogen, dan zat amonia.

3) Metanogenesis

Pada tahapan ini bakteri methanogen seperti methanococcus, methanosarcina, dan methanobacterium akan mengubah produk lanjutan dari tahap pengasaman menjadi gas metan, karbondioksida, dan air yang merupakan komponen biogas.

Dari keseluruhan proses yang terjadi ini tidak terlepas dari bantuan mikroorganisme anaerob. Jumlah energi yang dihasilkan dalam

dihasilkan pada proses metanogenesis. Semakin tinggi kandungan metana yang dihasilkan, maka semakin besar energi yang terbentuk. Sebaliknya, semakin rendah kandungan metana yang dihasilkan, maka energi yang dihasilkan akan semakin rendah.

2.2.3 Limbah Industri Kelapa Sawit

Kelapa sawit merupakan salah satu komoditas yang memiliki prospek cerah. Peningkatan produksi dan konsumsi dunia terhadap minyak sawit secara langsung dapat meningkatkan dampak negatif terhadap lingkungan. Pada proses produksi minyak sawit limbah dihasilkan dari berbagai stasiun kerja proses produksi. Limbah padat yang dihasilkan dari proses pengolahan kelapa sawit menjadi minyak kelapa sawit yaitu serabut atau serat (*fiber*), dan cangkang/tempurung (*shell*). Pemanfaatan limbah padat dari pengolahan kelapa sawit dilakukan berdasarkan nilai energi panas (*calorofic value*).

Tabel 2. 2 Nilai Panas Limbah Padat Kelapa Sawit

Limbah Padat	Rata-rata <i>calorific value</i> (kJ/kg)	Kisaran (kJ/kg)
Tandan kosong	18 795	18 000 – 19 920
Serat	19 055	18 800 – 19 580
Cangkang	20 093	19 500 – 20 750

Sumber : Putri, dkk (2009)

Tandan kosong dihasilkan dari proses perontokan buah. Tandan kosong merupakan limbah padat terbesar yang dihasilkan dalam pengolahan kelapa sawit. Tandan kosong merupakan tandan yang telah terlepas dari buahnya yang dihasilkan dari proses perontokan. Tandan kosong ini berjumlah 24,04 % dari Tandan Buah Sawit (TBS) yang diolah (Putri, dkk, 2009).

Serat kasar sebagai komponen terbesar memegang peranan kunci dalam proses perombakan anaerobik. Semakin tinggi kadar serat suatu bahan, semakin rendah efisiensi perombakan bahan tersebut sehingga efisiensi fermentasi anaerobik menjadi makin rendah (Rohim, 1991). Komponen yang termasuk serat kasar memiliki efisiensi perombakan yang berbeda-beda. Hemiselulosa memiliki

Tabel 2. 3 Hasil karakteristik Biomassa Tandan Kosong Kelapa Sawit

Analisa kadar	Biomassa
	Tandan Kosong Kelapa Sawit (%)
Air	27,024
Abu	6,698
Protein	5,466
Lemak	8,768
Hemiselulosa	16,853
Selulosa	35,059
Lignin	15,617
Carbon	38,291
Nitrogen	0,874
Perbandingan C/N	43,811

Sumber : Purwanto (2012).

Dari Tabel 2.3 dapat dilihat bahwa komponen serat kasar yang terdiri dari hemiselulosa, selulosa, dan lignin tertinggi terdapat pada bahan tandan kosong kelapa sawit dibandingkan dengan biomassa lain yaitu limbah jamur merang. Hal ini ditunjukkan dengan persentase angka tertinggi selulosa mencapai 35,059 %, hemiselulosa 16,853 %, dan lignin 15,617 %. (Purwanto, 2012). Serat kasar sebagai komponen terbesar memegang peranan kunci dalam proses perombakan anaerobik. Semakin tinggi kadar serat suatu bahan, semakin rendah efisiensi perombakan bahan tersebut sehingga efisiensi fermentasi anaerobik menjadi makin rendah (Rohim, 1991).

Selain komponen-komponen serat kasar, komponen lain yaitu protein dan lemak juga memberikan pengaruh yang tidak kalah penting dalam proses perombakan anaerobik dan tentunya juga berpengaruh terhadap produksi biogas yang dihasilkan. Dari Tabel 2.3 di atas menunjukkan bahwa kandungan protein dan lemak pada tandan kosong kelapa sawit lebih tinggi dibanding kandungan

2.2.4 Starter Rumen Sapi

Pada sistem pencernaan ruminansia terdapat suatu proses yang disebut memamah biak (ruminasi). Pakan berserat (hijauan) yang dimakan ditahan untuk sementara di dalam rumen. Pada saat hewan beristirahat, pakan yang telah berada dalam rumen dikembalikan ke mulut (proses regurgitasi), untuk dikunyah kembali (proses remastikasi), kemudian pakan ditelan kembali (proses redeglutasi). Selanjutnya pakan tersebut dicerna lagi oleh enzim-enzim mikroba rumen.

Di dalam rumen terdapat populasi mikroba yang cukup banyak jumlahnya. Mikroba rumen dapat dibagi dalam tiga kelompok utama yaitu fungi, bakteri, dan protozoa. Kehadiran fungi di dalam rumen berperan dalam pencernaan serat tahap awal, karena rizoid fungi tersebut dapat tumbuh menembus dinding sel tanaman, sehingga pakan lebih terbuka untuk dicerna oleh enzim bakteri rumen.

Menurut Hungate (1966), bakteri rumen dapat dikelompokkan berdasarkan substrat utama yang digunakan, yaitu :

- 1) Bakteri pencerna selulosa (*Bacteroides succinogenes*, *Ruminococcus flavafaciens*, *Ruminococcus albus*, *Butyrivibrio fibrisolvens*)
- 2) Bakteri pencerna hemiselulosa (*Butyrivibrio fibrisolvens*, *Bacteroides ruminicola*, *Ruminococcus sp*)
- 3) Bakteri pencerna pati (*Bacteroides ammylophilus*, *Streptococcus bovis*, *Succinimonas amylolytica*)
- 4) Bakteri pencerna gula (*Triponema bryantii*, *Lactobasilus ruminus*),
- 5) Bakteri pencerna protein (*Clostridium sporogenus*, *Bacillus licheniformi*).

Menurut Arora (1989), protozoa rumen dapat dikelompokkan menurut morfologinya yaitu :

Holotrichs yang mempunyai silia diseluruh tubuhnya, (*Polyplastron multiresiculatum*, *Ophyroscolex tricornatus*). Protozoa ini berperan dalam mencerna karbohidrat yang fermentabel, terutama memecah gula terlarut seperti glukosa, maltosa, sukrosa dan pati terlarut dan melepaskan asam asetat, asam butirat, asam laktat, CO₂, hidrogen dan amilopektin.

Oligotrichs yang mempunyai silia disekitar mulut, (*Entodinium caudatum*, *Epidinium caudatum*, *Polyplastron multiresiculatum*) Protozoa ini berperan dalam merombak karbohidrat yang lebih sulit dicerna yang mempunyai aktifitas selulosa aktif. Protozoa ini memecah selulosa dan terutama melepaskan selobiosa dan glukosa.

Protozoa berkembang di dalam rumen dengan kondisi alami, dan membantu pencernaan zat-zat makanan dari rumput-rumputan yang kaya akan serat kasar dan protozoa ini bersifat anaerob.

1. Kandungan Nutrisi Rumen Sapi

Pada dasarnya isi rumen merupakan bahan-bahan makanan yang terdapat dalam rumen belum menjadi feces dan dikeluarkan dari dalam lambung rumen setelah hewan dipotong. Kandungan nutriennya cukup tinggi, hal ini disebabkan belum terserapnya zat-zat makanan yang terkandung didalamnya sehingga kandungan zat-zatnya tidak jauh berbeda dengan kandungan zat makanan yang berasal dari bahan bakunya.

Anggorodi (1979), menyatakan bahwa ternak ruminansia dapat mensintesis asam amino dari zat-zat yang mengandung nitrogen yang lebih sederhana melalui kerjanya mikroorganisme dalam rumen. Mikroorganisme tersebut membuat zat-zat yang mengandung nitrogen bukan protein menjadi protein yang berkualitas tinggi. Mikroorganisme dalam rumen terdiri dari kelompok besar yaitu bakteri dan protozoa, temperatur rumen 39 sampai 40 derajat celcius, pH 7,0 sehingga memberikan kehidupan optimal bagi mikroorganisme rumen. Sekitar 80% Nitrogen dijumpai dalam tubuh bakteri rumen berupa protein dan 20 % berupa asam nukleat. Berdasarkan analisa

... ..