

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 BIOGAS

Biogas didefinisikan sebagai gas yang dilepaskan jika bahan-bahan organik (seperti kotoran ternak, kotoran manusia, jerami, sekam, dan daun-daun hasil sortiran sayur) difermentasi atau mengalami proses metanisasi (Hambali *et al.* 2007). Menurut Wahyuni (2009) biogas merupakan campuran gas yang dihasilkan oleh bakteri metanogenik yang terjadi pada material-material yang dapat terurai secara alami dalam kondisi anaerobik.

Menurut Widodo *et al* (2006), teknologi biogas di Indonesia telah berkembang sejak lama namun aplikasi penggunaannya sebagai sumber energi alternatif belum berkembang secara luas. Beberapa kendalanya yaitu kekurangan *technical expertise*, reaktor biogas tidak berfungsi akibat bocor atau kesalahan konstruksi, desain tidak *user friendly*, penanganan masih secara manual, dan biaya konstruksi yang mahal. Kendala tersebut dapat disikapi dengan cara merawat unit instalasi biogas, diantaranya:

1. Mengaduk campuran kotoran dan air yang terdapat pada digester setiap hari dengan menggunakan bambu panjang agar kerak yang terdapat pada permukaan campuran tidak menghambat produksi gas.
2. Agar digester dapat terus menghasilkan gas secara optimal, maka secara periodik digester perlu dikuras/dibersihkan. Pembersihan digester dapat dilakukan setiap 5 atau 6 tahun sekali. Pembersihan digester dilakukan dengan terlebih dahulu membuang gas metan dalam digester. Setelah tutup bagian atas dibuka, digester dikuras, kemudian ditutup kembali dan kotoran dapat dimasukkan kembali (Anonim 2009).

2.2 KOMPOSISI BIOGAS

Teknologi biogas menghasilkan gas yang sebagian besar mengandung gas metana (CH_4) dan karbon dioksida (CO_2) serta beberapa kandungan gas lain yang jumlahnya kecil diantaranya hidrogen sulfida (H_2S), ammonia (NH_3), hidrogen (H_2), dan nitrogen (N_2). Pambudi (2008) menyebutkan bahwa energi yang terkandung dalam biogas tergantung dari konsentrasi metana (CH_4). Kandungan metana yang tinggi mempunyai energi (nilai kalor) yang besar, sedangkan kandungan metana yang rendah mempunyai energi (nilai kalor) yang rendah. Pembentukan gas metana biasanya terjadi pada hari ke 10-14 sebesar 54 % dan karbondioksida (CO_2) sebesar 27%. Selanjutnya biogas dapat dimanfaatkan untuk menyalakan kompor (Wahyuni 2009). Penjelasan mengenai komposisi biogas ditunjukkan oleh table 1 berikut:

Tabel 1. Komposisi biogas

Komponen	Jumlah
Metana (CH ₄)	55-75%
Karbon dioksida (CO ₂)	25-45%
Karbon Monoksida (CO)	0-0,3%
Nitrogen (N ₂)	1-5%
Hidrogen (H ₂)	0-3%
Hidrogen sulfida (H ₂ S)	0,1-0,5%
Oksigen (O ₂)	Sedikit

Sumber : Karellas *et.al* (2010)

Pemanfaatan gas metan sebagai sumber energi berperan positif dalam upaya mengatasi masalah global (efek rumah kaca) yang berakibat pada perubahan iklim global. Kesetaraan energi dan pemanfaatannya yang dihasilkan oleh teknologi biogas dalam 1 m³ digambarkan oleh tabel 2 berikut:

Tabel 2. Kesetaraan biogas dengan energi lain

Sumber energi	Kapasitas
Elpiji	0.46 kg
Minyak tanah	0.62 liter
Minyak solar	0.52 liter
Bensin	0.80 liter
Gas kota	1.50 m ³
Kayu bakar	3.50 kg

Sumber : Wahyuni (2009)

Tabel 3. Aplikasi energi biogas

Aplikasi	1m ³ biogas setara dengan
Penerangan	60-100 watt lampu bohlam selama 6 jam
Memasak	dapat memasak 3 jenis masakan untuk keluarga (5-6 orang)
Pengganti bahan bakar tenaga	0.7 kg minyak tanah dapat menjalankan satu motor tenaga kuda selama 2 jam
Pembangkit tenaga listrik	Dapat menghasilkan 1.25 kWh listrik

Sumber: Kristoferson dan Bakalders 1991 dalam Hambali (2007)

Peningkatan kualitas biogas dapat dilakukan dengan beberapa parameter yaitu menghilangkan hidrogen sulfur, kandungan air, dan karbon dioksida. Hidrogen sulfur mengandung racun dan zat yang menyebabkan korosi. Apabila gas ini dibakar, maka akan

membentuk senyawa baru bersama oksigen yaitu sulfur dioksida (SO_2) atau sulfur trioksida (SO_3) dan pada saat yang sama akan membentuk *sulfur acid* (H_2SO_3) yaitu senyawa yang lebih korosif. Konsentrasi hidrogen sulfur yang masih ditoleransi yaitu 5 ppm. Penghilangan karbondioksida bertujuan untuk meningkatkan kualitas biogas sehingga gas tersebut dapat juga digunakan untuk bahan bakar kendaraan, sedangkan kandungan air berpotensi pada menurunnya titik penyalaan biogas serta dapat menimbulkan korosif (Switenia, dkk 2008).

2.3 BAHAN BAKU BIOGAS

Pada umumnya semua bahan organik yang mudah membusuk seperti jerami padi yang memiliki rasio C/N 68, kotoran hewan, serta kotoran manusia dapat dijadikan biogas. Hanya saja biogas kotoran manusia terkendala pada aspek kepantasan (sosial). Kotoran unggas maupun hewan ternak dipilih karena ketersediaannya yang melimpah, memiliki keseimbangan nutrisi, mudah dicerna, dan relatif dapat diproses secara biologi.

Hardyanti (2007) menyebutkan bahwa biogas dengan zat penyusun yang berbeda (variasi bahan baku) akan menghasilkan nilai kalor yang berbeda pula, tergantung pada mutu substrat. Potensi biogas berbagai jenis bahan diperlihatkan oleh Tabel 4.

Tabel 4. Produksi biogas dan waktu tinggal dari berbagai bahan

Bahan	Produksi Biogas (L/kg TS)	Kadar Metana (%)	Waktu Tinggal (hari)
Pisang (Buah dan daun)	940	53	15
Rumput	450-530	55-57	20
Jagung (batang secara keseluruhan)	350-500	50	20
Jerami (dicacah)	250-350	58	30
Tanaman rawa	380	56	20
Kotoran ayam	300-450	57-70	20
Kotoran sapi	190-220	68	20
Sampah (fraksi organik)	380	56	25

Sumber : Arati (2009), modifikasi. *)TS= *total solids*/ bahan kering

2.4 FERMENTASI ANAEROBIK

Fermentasi anaerob berarti selama proses fermentasi tidak ada udara yang masuk di dalam reaktor. Analognya, proses ini meniru mekanisme proses yang terjadi pada perut ruminansia yaitu proses pencernaan secara anaerobik. Produk akhir dari proses fermentasi ini adalah gas metana (CH_4). Beberapa alasan yang dipakai untuk penggunaan proses anaerobik dalam penanganan limbah antara lain tingginya laju reaksi dibandingkan dengan proses aerobik, kegunaan dari produk akhirnya, stabilisasi dari komponen organik dan memberikan karakteristik tertentu pada daya ikat air produk yang menyebabkan produk dapat dikeringkan dengan mudah (Jenie 1993). Hal ini diperkuat oleh pernyataan Metcalf dan Eddy (2003) mengenai keuntungan dan kerugian fermentasi anaerob yaitu:

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Tabel 5. Keuntungan dan kerugian fermentasi anaerobik

Keuntungan	Kerugian
Energi yang dibutuhkan sedikit	Mebutuhkan waktu pembiakan yang lama
Manfaat produk yang dihasilkan	Mebutuhkan penambahan senyawa alkalinity
Nutrisi yang dibutuhkan sedikit	Tidak mendegradasi senyawa nitrogen dan fosfor
Dapat menghasilkan senyawa metana sebagai sumber energi potensial	Sangat sensitif terhadap efek perubahan temperature
Hanya membutuhkan reaktor dengan volume yang kecil	Menghasilkan senyawa yang beracun seperti H ₂ S

2.5 BAKTERI METANOGEN

Jenie (1993) mengatakan bahwa saat ini telah dikenal berbagai jenis bakteri metana di alam. Namun pengetahuan mengenai mekanisme bakteri metana tersebut dalam proses metabolismenya masih belum terungkap secara rinci. Kesulitannya adalah melakukan pengisolasian dan mengidentifikasi karena karakteristik yang dimilikinya beragam. Bakteri metana yang telah berhasil diidentifikasi terdiri dari empat genus yaitu :

1. *Methanobacterium*, bakteri bentuk batang dan tidak berspora
2. *Methanobacillus*, bakteri bentuk batang dan berspora
3. *Methanococcus*, bakteri bentuk kokus atau kelompok koki yang membagi diri
4. *Methanoosarcina*, bakteri bentuk sarcina pada sudut 90° dan tumbuh dalam kotak yang terdiri dari 9 sel.

Bakteri metanogenik berkembang lambat dan sensitif terhadap perubahan mendadak pada kondisi-kondisi fisik dan kimiawi. Penurunan 2 °C secara mendadak pada *slurry* mungkin secara signifikan berpengaruh pada pertumbuhannya dan laju produksi gas. Tidak hanya itu, tingginya materi pereduksi seperti nitrit atau nitrat dapat menghambat pertumbuhan bakteri metanogen.

Yani dan Darwis (1990) menerangkan bahwa bakteri metanogen sangat restriktif terhadap alkohol dan asam organik, yang dijadikan sumber karbon. Oksidasi substrat secara tunggal oleh salah satu species bakteri seringkali tidak sempurna, oleh karena itu produk degradasi parsial dapat dijadikan sumber substrat oleh species lainnya untuk pembentukan gas metana. Sejumlah species dan senyawa organik yang dapat berperan sebagai substrat serta produk (senyawa-senyawa) yang dihasilkan terdapat pada Tabel 6.

Tabel 6. Species bakteri metanogen

Bakteri	Substrat	Produk
<i>Metanobacterium formicum</i>	CO ₂	CH ₄
<i>M. mobilis</i>	Format	CH ₄
<i>M. propionicum</i>	H ₂ O + CO ₂	CO ₂ + Asetat

<i>M. sohngonii</i>	Propionat	CH ₄
<i>M. suboxydans</i>	Kaproat, Butirat	CH ₄ + CO ₂
<i>Metanococcus mazei</i>	Asetat, Butirat	Asetat, Propionat
<i>M. vanielii</i>	H ₂ O + CO ₂ , Format	CH ₄ + CO ₂
<i>Metanosarcina bakteri</i>	H ₂ O + CO ₂ , Metanol, Asetat	CH ₄ , CH ₄ , CH ₄ + CO ₂
<i>M. metanica</i>	Butirat	CH ₄ + CO ₂

Sumber: Price dan Cheremisinoff (1981)

2.6 MEKANISME PEMBENTUKAN BIOGAS

Secara umum proses pembentukan biogas yaitu fermentasi bahan organik kompleks menjadi gas oleh mikroorganisme anaerob. Berdasarkan aliran bahan baku, reaktor biogas (biodigester) dibedakan menjadi:

1. *Bak (batch)* – Pada tipe ini, bahan baku reaktor ditempatkan di dalam wadah (ruang tertentu) dari awal hingga selesainya proses digesti. Umumnya digunakan pada tahap eksperimen untuk mengetahui potensi gas dari limbah organik.
2. *Mengalir (continuous)* – Untuk tipe ini, aliran bahan baku masuk dan residu keluar pada selang waktu tertentu. Lama bahan baku selama dalam reaktor disebut waktu retensi hidrolis (*hydraulic retention time/HRT*).

Bapat *et al.* (2006) di dalam Prasetyo (2010) menambahkan satu jenis fermentasi yaitu *feed batch*. Fermentasi *feed batch* merupakan proses fermentasi dengan penambahan nutrisi pada interval waktu tertentu dan tak ada media yang dipindahkan, berbeda dengan fermentasi kontinyu yang dilakukan penambahan *feed* secara terus-menerus serta produknya dipindahkan secara bersamaan.

Menurut Haq dan Soedjono (2009) penguraian bahan-bahan organik menjadi biogas dibagi menjadi 4 tahap yaitu hidrolisis, asidogenesis, asetogenesis, dan metanogenesis yang berlangsung terus secara berantai sampai pada suatu keadaan dimana tidak ada lagi bahan organik yang dapat dihidrolisa.

1. Hidrolisis

Grup mikroorganisme *hydrolytic* mengurai senyawa organik kompleks menjadi molekul-molekul sederhana dengan rantai pendek. Senyawa tersebut diantaranya adalah glukosa, asam amino, asam organik, etanol, karbon dioksida, dan hidrokarbon yang dimanfaatkan sebagai sumber karbon dan energi bagi bakteri untuk melakukan fermentasi. Proses hidrolisis dikatalis oleh enzim yang dikeluarkan bakteri seperti selulase, protease, dan lipase.

Bakteri selulolitik memecah atau memotong molekul selulosa yang merupakan molekul dengan berat yang tinggi menjadi *selulobiose* (glukosa-glukosa) dan menjadi glukosa bebas (*free glucose*). Glukosa kemudian difermentasi secara anaerob menghasilkan bermacam-macam produk fermentasi seperti asetat, propionat, butirat, H₂, dan CO₂.

Protein dan lemak juga dapat mengalami proses fermentasi anaerob yang menghasilkan metana. Meskipun kandungan protein dan lemak lebih sedikit daripada karbohidrat, tetapi metana yang dihasilkan dari fermentasi protein dan lemak dapat menambah jumlah metana yang digunakan untuk biogas. Semakin banyak kandungan

bahan organik yang terdapat dalam *slurry* maka mikroorganisme dapat tumbuh dan berkembang dengan baik serta semakin banyak bahan organik yang dapat diubah menjadi metana.

2. Asidogenesis

Tahap hidrolisis segera dilanjutkan oleh pembentukan asam pada proses asidogenesis. Pada proses ini bakteri *acidogenesis* mengubah hasil dari tahap hidrolisis menjadi bahan organik sederhana (kebanyakan dari rantai pendek, keton, dan alkohol).

3. Asetogenesis (Tahap Pembentukan Asam)

Pada tahap ini terjadi pembentukan senyawa asetat, CO₂, dan hidrogen dari molekul-molekul sederhana yang tersedia oleh bakteri aseton penghasil hidrogen. Bakteri pembentuk asam antara lain *Pseudomonas*, *Escherichia*, *Flavobacterium*, dan *Alcaligenes* yang mendegradasi bahan organik menjadi asam-asam lemak (Radar Tarakan online 2008). Asam lemak yang teruapkan dari hasil asidogenesis akan digunakan sebagai energi oleh beberapa bakteri obligat anaerobik. Tetapi bakteri-bakteri tersebut hanya mampu mendegradasi asam lemak menjadi asam asetat. Salah satunya adalah degradasi asam propionate oleh *Synthrophobacter wolinii* (Weismann 1991).

4. Metanogenesis (Tahap Pembentukan Metan)

Tahapan metanogenesis merupakan tahapan konversi anaerobik terakhir dan paling menentukan, yaitu dilakukan penguraian dan sintesis produk tahap sebelumnya untuk menghasilkan gas methana (CH₄). Hasil lain dari proses ini berupa karbon dioksida, air, dan sejumlah kecil senyawa gas lainnya. Bakteri yang terlibat pada proses ini yaitu bakteri metanogenik dari sub divisi *acetocalstic methane bacteria* yang terdiri atas *Methanobacterium*, *Methanosarcina*, dan *Methanococcus* (Radar Tarakan online 2008). Pada proses di dalam reaktor, pertumbuhan bakteri ini bergantung pada temperatur, keasaman, serta jumlah material organik yang akan dicerna. Pada tahap awal pertumbuhannya, bakteri metanogenik bergantung pada ketersediaan nitrogen dalam bentuk ammonia dan jumlah substrat yang digunakan. Bakteri metanogenik mensintesis senyawa dengan berat molekul rendah menjadi senyawa dengan berat molekul tinggi, misalnya bakteri ini menggunakan hidrogen, CO₂, dan asam asetat untuk membentuk metana dan CO₂ (Amaru 2004). Haq dan Soedjono (2009) menyebutkan bahwa bakteri ini memiliki pertumbuhan yang lebih lambat dibandingkan dengan bakteri yang ada pada tahap satu dan dua. Bakteri *methanogen* sangat tergantung pada bakteri lainnya yang terdapat pada tahap sebelumnya untuk menghasilkan nutrisi dalam bentuk yang sesuai. Bakteri *methanogen* secara alami dapat diperoleh dari berbagai sumber seperti: air bersih, endapan air laut, sapi, kambing, lumpur (*sludge*) kotoran anaerob ataupun TPA (Tempat Pembuangan Akhir).

2.7 FAKTOR-FAKTOR YANG MEMENGARUHI TEKNOLOGI

PROSES BIOGAS

Menurut Wahyuni (2009), proses fermentasi mengacu pada berbagai reaksi dan interaksi yang terjadi diantara bakteri metanogen dan non-metanogen serta bahan yang

diumpungkan ke dalam digester sebagai input. Hal ini adalah fisiko-kimia yang kompleks dan proses biologis yang melibatkan berbagai faktor dan tahapan bentuk dan dinamakan sebagai faktor abiotis. Faktor-faktor yang memengaruhi proses fermentasi bahan organik menjadi biogas meliputi:

1. Starter

Starter yang mengandung bakteri metana diperlukan untuk mempercepat proses fermentasi anaerob. Beberapa jenis starter antara lain:

- Starter alami, yaitu lumpur aktif sebagai lumpur kolam ikan, air comberan atau cairan *septic tank*, *sludge*, timbunan kotoran, dan timbunan sampah organik.
- Starter semi buatan, yaitu dari fasilitas biodigester dalam stadium aktif.
- Starter buatan, yaitu bakteri yang dibiakkan secara laboratorium dengan media buatan.

2. Komposisi nutrisi

Menurut Hartono (2009), parameter penting pada proses anaerobik adalah total bahan organik yang merupakan ukuran suatu material seperti karbohidrat, protein, dan lemak. Seluruh substrat itu dapat dikonversi menjadi asam-asam teruapkan dan metan. Ketersediaan nutrisi yang cukup berpengaruh pada gas metan yang akan dihasilkan.

3. Ukuran Bahan

Laju produksi biogas dapat ditingkatkan melalui pemberian *pretreatment* substrat. Maksudnya yaitu menghancurkan struktur organik kompleks menjadi molekul sederhana sehingga mikroorganisme lebih mudah mendegradasi bahan tersebut. Bahan dengan ukuran lebih kecil akan lebih cepat terdekomposisi daripada bahan dengan ukuran yang lebih besar. Hal tersebut dikarenakan bahan dengan ukuran lebih kecil memiliki luas kontak permukaan yang lebih besar dibandingkan bahan berukuran besar (Sulaeman 2007). Wahyuni (2009) menguatkan bahwa degradasi dan potensi produksi biogas dari limbah berserat dapat secara signifikan meningkat dengan perlakuan awal yaitu memperkecil ukuran partikel.

4. Rasio C/N

Hubungan antara jumlah karbon dan nitrogen yang terdapat pada bahan organik dinyatakan dalam rasio karbon/nitrogen (C/N). Apabila rasio C/N sangat tinggi, nitrogen akan dikonsumsi sangat cepat oleh bakteri metan sampai batas persyaratan protein dan tidak lama bereaksi ke arah kiri pada kandungan karbon pada bahan. Sebagai akibatnya produksi metan akan menjadi rendah, sebaliknya apabila rasio C/N sangat rendah, nitrogen akan bebas dan akan terakumulasi dalam bentuk amonia (NH₄) yang berdampak pada meningkatnya pH pada digester (Wahyuni 2009).

Syarat ideal C/N untuk proses digesti sebesar 25–30. Oleh karena itu, untuk mendapatkan produksi biogas yang tinggi, maka penambangan bahan yang

mengandung karbon (C) seperti jerami atau N (misalnya urea) perlu dilakukan untuk mencapai rasio C/N tersebut. Berikut tabel 7 yang menunjukkan kadar N dan rasio C/N dari beberapa jenis bahan organik:

Tabel 7. Kandungan C dan N beberapa jenis bahan

Bahan organik	Rasio C/N	Kadar N (%)	Kekeringan bahan (%)
Kotoran ayam	15	6.3	25
Kotoran kuda	25	2.8	-
Kotoran sapi, kerbau	18	1.7	18
Tinja manusia	6-10	5.5-6.5	11
Buangan BPH	2	7-10	-
Sampah kota	54	1.05	-
Jerami jelai	68	1.05	-
Sayuran	12	3.6	-
Rumput muda	12	4	-

Sumber : Care (2011)

Dalam sistem biodigesti yang bekerja dengan baik, karbon adalah satu-satunya unsur yang hilang dalam jumlah besar. Nitrogen dan fosfor akan tersisa dalam jumlah yang sama tapi dalam konsentrasi yang lebih tinggi karena bahan lain sudah terdigesti.

5. Temperatur

Hampir seluruh aktivitas biologi dipengaruhi oleh temperatur. Temperatur dapat menghambat atau mempercepat pertumbuhan mikroba, penguraian bahan organik, produksi gas, penggunaan substrat, dan banyak aktivitas biologi lainnya. Salah satu alasannya adalah karena berbagai aktivitas biologi melibatkan reaksi-reaksi berbantuan enzim, sedangkan enzim sangat sensitif terhadap perubahan temperatur (Hartono 2009).

Hartono (2009) menyatakan bahwa berdasarkan temperatur operasinya, proses anaerob secara garis besar diklasifikasikan menjadi tiga yaitu *psychrofil*, mesofil, dan termofil. Pada umumnya digester anaerob beroperasi pada temperatur *mesofil* yaitu 20-45°C. Kondisi ini dipilih karena mikroba-mikroba di alam lebih banyak yang bersifat mesofil daripada *psychrofil* dan termofil. Selain itu, *sludge retention time* (SRT) dalam digester *mesofil* (4-6 minggu) juga lebih pendek daripada dalam digester *psychrofil* (12 minggu) dengan suhu 5-25°C, sedangkan temperatur termofil yaitu 50-70°C. Laju degradasi bahan organik pada temperatur termofil lebih cepat daripada sistem *psychrofil* dan *mesofil*. Oleh karena itu SRT termofil juga sangat singkat, namun pengendalian temperatur termofil lebih sulit dan mahal daripada *mesofil* dan *psychrofil*. Kondisi pengoperasian proses anaerobik tersebut diperlihatkan oleh Tabel 8.

Tabel 8. Kondisi pengoperasian proses anaerobik

Parameter	Nilai
-----------	-------

Suhu	
Mesofilik	35 °C
Termofilik	54 °C
pH	7-8
Waktu retensi	10-30 hari
Laju pembebanan	0.15-0.35 kg VS/m ³ /hari
Hasil biogas	4.5-11 m ³ /kg VS
Kandungan metana	60-70 %

Sumber : Engler *et al.* (2000)

Dalam seluruh jenis temperatur anaerob, sangat penting untuk menjaga konsistensi temperatur di seluruh bagian tangki. Jika terjadi variasi temperatur, maka akan menghambat atau menonaktifkan bakteri anaerob tertentu termasuk bakteri metanogen yang memiliki rentang adaptasi temperatur sangat sempit.

7. Nilai pH

Perubahan pH akan membawa perubahan pada sistem biologis. Hal ini karena aktivitas enzim sangat dipengaruhi oleh pH. Pada umumnya mikroba anaerob beraktivitas pada pH optimum antara 6-7.5. Rentang pH ini dapat dikontrol oleh buffer alami berupa amonium (NH^+) dan bikarbonat (HCO^-). Ion amonium diperoleh dari deaminasi asam-asam amino dan material yang mengandung nitrogen dan amino lainnya seperti DNA, RNA, Adenosin Tri Phosphat (ATP), dan enzim. Ion bikarbonat diperoleh dari karbondioksida yang diproduksi selama hidrolisis, pembentukan asam dan metanogenesis (Hartono 2009).

Wahyuni (2009) menyebutkan bahwa derajat keasaman (pH) di dalam digester merupakan fungsi waktu di dalam digester tersebut. Pada tahap awal proses fermentasi, asam organik dalam jumlah besar diproduksi oleh bakteri pembentuk asam, sehingga pH di dalam digester bisa mencapai di bawah 5. Kemudian proses pencernaan berlangsung dan nilai pH berangsur normal seiring dengan pembentukan NH_4 hasil dari penguraian nitrogen.

8. Kadar Air

Menurut Haq dan Soedjono (2009), dekomposisi bahan organik oleh mikroorganisme tergantung kadar air. Kelembaban 36-99 % akan menaikkan produksi gas 67 %. Kenaikan tersebut dicatat pada rentang kelembaban 60-78 % dan cenderung sama pada kelembaban yang lebih tinggi. Sisa kelembaban dapat menghambat aktivitas methanogen. Menurut Triyanto (1992), bahan umpan yang baik mempunyai kandungan padatan 7 %-9 %.

Rahman (2007) mengatakan bahwa mikroorganisme pembusuk akan tumbuh subur pada bahan yang memiliki kadar air sekitar 90%. Hal ini menunjukkan bahwa bahan sangat mudah mengalami proses pembusukkan atau degradasi secara mikrobiologi.

9. Inhibitor

Menurut Wahyuni (2009), ion mineral, logam berat, dan detergen merupakan beberapa material racun yang memengaruhi pertumbuhan bakteri. Bakteri metanogen

lebih sensitif terhadap racun daripada bakteri penghasil asam. Amonia (NH₄) pada konsentrasi 50-200 mg/l dapat merangsang pertumbuhan mikroba. Namun apabila konsentrasinya diatas 1500 mg/l akan mengakibatkan keracunan.

10. Pengadukan

Proses pengadukan ditujukan untuk mendapatkan campuran substrat dan bakteri fermentasi yang homogen dengan ukuran partikel yang kecil. Pengadukan selama proses dekomposisi untuk mencegah terjadinya benda-benda mengapung pada permukaan cairan. Di samping itu, pengadukan akan memberikan kondisi temperatur yang seragam untuk proses tersebut.

11. Waktu tinggal di dalam digester

Waktu tinggal di dalam digester adalah rata-rata periode waktu saat input masih berada dalam digester dan proses fermentasi oleh bakteri metanogen. Waktu tinggal juga dipengaruhi oleh suhu. Suhu di atas 35 °C mengakibatkan produksi gas menjadi rendah (Wahyuni 2009). Anonim (2006) menyebutkan bahwa pada umumnya biogas masing-masing variasi mulai terbentuk pada hari pertama setelah pengisian dan terus meningkat secara signifikan hingga akhirnya mencapai kondisi statis. Pengetahuan mengenai waktu pencapaian kondisi statis berimplikasi pada pengetahuan waktu tinggalnya (HRT). Hal ini berguna untuk jadwal pengisian substrat jika akan diaplikasikan di lapangan.

2.8 JERAMI PADI

Jerami merupakan bagian vegetatif dari tanaman padi (batang, daun, dan tangkai malai). Pada waktu tanaman dipanen, jerami adalah bagian tanaman yang tidak diambil. Bobot Jerami padi merupakan fungsi dari ketersediaan air, varietas, nisbah gabah/jerami, cara budidaya, kesuburan tanah, musim, iklim dan ketinggian tempat. Jerami terdiri atas daun, pelepah daun, ruas atau buku. Ketiga unsur ini relatif kuat karena mengandung silika dan selulosa yang tinggi sehingga pelapukanya memerlukan waktu. Namun jika diberi perlakuan tertentu akan mempercepat terjadi perubahan strukturnya (Makarim 2007).

Produksi jerami padi di Indonesia juga merupakan salah satu yang terbesar. Pada Tabel 9 berikut dapat dilihat data produksi jerami padi diberbagai negara.

Tabel 9. Data perkiraan produksi jerami diberbagai negara

Negara	Luas Panen ('000 ha)	Produksi ('000 Ton)	Prakiraan Produksi Jerami ('000 Ton) ¹
Cina	30.503	190.168	285.252
India	44.600	161.500	242.250
Indonesia	11.523	51.000	76.500
Bangladesh	10.700	35.821	53.732
Vietnam	7.655	32.554	48.831
Thailand	10.048	23.403	35.105
Myanmar	6.211	20.125	30.188
Filipina	4.037	12.415	18.623

Jepang	1.770	11.863	17.796
Brasil	3.672	11.168	16.752
Amerika Serikat	1.232	8.669	13.004
Korea Selatan	1.072	7.067	10.600
Pakistan	2.312	7.000	10.500
Nepal	1.550	4.030	6.045
Nigeria	2.061	3.277	4.916

^{*)} angka perkiraan, berdasarkan *grain ratio* 2:3

Sumber : Maclean *et al.* (2002) didalam Makarim (2007)

Di Indonesia rata-rata kadar hara jerami padi adalah 0.4% N, 0.02%P, 1.4%K dan 5.6% Si (Makarim 2007). Jerami padi mengandung 40-43% C (Makarim 2007).

Fermentasi biogas dapat dibuat dari berbagai residu tanaman dan sumber bahan organik, termasuk jerami padi. Setiap kilogram jerami dihasilkan 0,25 m³ gas metan dan residunya mengandung 38% C (Makarim 2007). Jerami relatif sulit terdekomposisi. Hanya 9-16% dari produksi total, sehingga untuk mempercepat produksi gas jerami perlu dikomposkan terlebih dahulu (Makarim 2007). Makarim (2007) juga menyatakan bahwa dari sisi kuantitas, jerami padi merupakan salah satu limbah pertanian yang belum banyak dimanfaatkan di Indonesia. Jerami padi harganya sangat murah dan memiliki kandungan selulosa yang cukup tinggi yaitu mencapai 39%. Komposisi kimia lainnya yaitu hemiselulosa 27.5%, lignin 23.5% dan abu 10%. Potensi jerami kurang lebih 1.4 kali dari hasil panen.

2.9 SLUDGE

Limbah adalah buangan yang kehadirannya pada suatu saat dan tempat tertentu tidak dikehendaki lingkungan karena tidak memiliki nilai ekonomi. Namun berdasarkan nilai ekonomisnya, limbah dibedakan menjadi limbah yang mempunyai nilai ekonomis dan limbah yang tidak memiliki nilai ekonomis. Limbah yang memiliki nilai ekonomis yaitu limbah yang melalui suatu proses lanjut sehingga memberikan suatu nilai tambah, sedangkan limbah non-ekonomis adalah suatu limbah walaupun telah dilakukan proses lanjut dengan cara apapun tidak akan memberikan nilai tambah kecuali sekedar untuk mempermudah sistem pembuangan. Limbah yang mengandung bahan polutan yang memiliki sifat racun dan berbahaya dikenal dengan limbah B-3 yang dinyatakan sebagai bahan yang dalam jumlah relatif sedikit tetapi berpotensi untuk merusak lingkungan hidup dan sumber daya (Kristanto 2002).

Limbah padat industri pangan terutama terdiri dari bahan-bahan organik seperti karbohidrat, protein, lemak, serat kasar, dan air merupakan bahan-bahan yang mudah terdegradasi secara biologis dalam sebuah bioreaktor baik secara aerob maupun anaerob serta menyebabkan pencemaran lingkungan, terutama menimbulkan bau busuk.

Limbah organik yang akan diterima pada umumnya berupa lumpur endapan dari proses pengolahan air limbah industri. Lumpur banyak mengandung zat pengurai sehingga sangat baik untuk memakan bahan organik yang masih baru (Kristanto, 2002).

Sludge merupakan endapan padat yang secara alami berada di dalam air dan air limbah, atau benda yang bukan endapan padat tetapi secara pengentalan kimia dan flokulasi biologi dapat mengendap dan dialirkan dari tangki pembuangan limbah. Sementara menurut Sugiharto (1987), lumpur (*sludge*) yang dihasilkan dari pengolahan limbah cair perlu dilakukan pengolahan secara khusus agar lumpur tersebut dapat dimanfaatkan kembali untuk keperluan kehidupan manusia.

Sistem pengolahan air limbah aerobik secara konvensional dengan menggunakan lumpur aktif merupakan pengolahan air limbah yang paling populer dilakukan baik pada instalasi pengolahan air limbah domestik atau pada industri. Namun proses pengolahan ini kurang begitu menguntungkan karena menghasilkan banyak lumpur aktif dan hingga saat ini belum ada penyelesaian secara terintegrasi. Biasanya lumpur dikeringkan dan selanjutnya dibuat sebagai tanah urukan atau dibakar. Sehingga pembuangan lumpur aktif dari tahun ke tahun semakin meningkat, padahal lahan yang dipergunakan untuk menampung buangan lumpur aktif (*landfill*) sangat terbatas. Pengolahan lumpur aktif dengan pembakaran biasanya menggunakan alat *incinerator* yang membutuhkan biaya mahal. Disamping itu proses aerobik memerlukan lahan yang luas, *capital cost* tinggi (sistem mekanik atau aerasi dilakukan dengan sistem difusi), dan biaya operasional tinggi (kebutuhan nutrisi dan kebutuhan energi selama aerasi adalah tinggi). Pengolahan limbah secara anaerobik dapat menghasilkan gas yang terdiri atas metana (CH_4) dan karbon dioksida (CO_2) yang dikenal sebagai biogas.

Di samping limbah cair, industri juga menghasilkan limbah padat. Berdasarkan sifatnya, pengolahan limbah padat industri terbagi menjadi dua yaitu limbah padat dengan pengolahan dan limbah padat tanpa pengolahan. Limbah padat tanpa pengolahan dapat dibuang ke tempat tertentu yang difungsikan sebagai tempat pembuangan akhir karena limbah tersebut tidak mengandung unsur kimia yang beracun dan berbahaya. Berbeda dengan limbah padat yang mengandung senyawa kimia berbahaya dan beracun atau yang sedikit-tidaknya menimbulkan reaksi baru, limbah semacam ini harus diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke tempat pembuangan akhir. Selain itu, secara garis besar limbah padat dapat diklasifikasikan sebagai berikut: limbah padat yang mudah terbakar, limbah padat yang sukar terbakar, limbah padat yang mudah membusuk, debu, lumpur (*sludge*), dan limbah yang dapat di daur ulang (Kristanto 2002).

Lumpur aktif (*activated sludge*) adalah proses pertumbuhan mikroba tersuspensi. Proses ini pada dasarnya merupakan pengolahan aerobik yang mengoksidasi material organik menjadi CO_2 dan H_2O , NH_4 , serta sel biomassa baru. Proses ini menggunakan udara yang disalurkan melalui pompa blower (*diffused*) atau melalui aerasi mekanik. Sel mikroba membentuk flok yang akan mengendap di tangki penjernihan. Kemampuan bakteri dalam membentuk flok menentukan keberhasilan pengolahan limbah secara biologi, karena akan memudahkan pemisahan partikel dan air limbah. Semua air buangan yang *biodegradable* dapat diolah secara biologi. Pengolahan secara biologi (pengolahan sekunder) dipandang sebagai pengolahan yang paling murah dan efisien (Anonim 2011).

Lebih dari 300 jenis bakteri yang dapat ditemukan dalam lumpur aktif. Bakteri tersebut bertanggung jawab terhadap oksidasi material organik dan transformasi nutrisi.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Bakteri juga menghasilkan polisakarida dan material polimer yang membantu flokulasi biomassa mikrobiologi. Genus yang umum dijumpai adalah *Zooglea*, *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Alcaligenes*, *Bacillus*, *Achromobacter*, *Corynebacterium*, *Comomonas*, *Brevibacterium*, dan *Acinetobacter*. Di samping itu ada pula mikroorganisme berfilamen yaitu *Sphaerotilus* dan *Beggiatoa*, *Vitreoscilla*. Jumlah bakteri aktif aerobik menurun karena ukuran flok meningkat yang disebabkan oleh tingkat oksigen dalam difusi. Bagian dalam flok yang relatif besar membuat kondisi berkembangnya bakteri anaerobik seperti metanogen. Kehadiran metanogen dapat dijelaskan dengan pembentukan beberapa kantong anaerobik didalam flok atau dengan metanogen tertentu terhadap oksigen (Wu *et al.*, 1987). Oleh karena itu lumpur aktif cukup baik dan cocok untuk material bibit bagi pengoperasian awal reaktor anaerobik.

Sludge memiliki manfaat yang sama dengan pupuk kandang terutama dalam memperbaiki struktur tanah dan memberikan kandungan unsur hara yang diperlukan oleh tanaman. *Sludge* memiliki kelebihan lain yaitu setelah keluar dari digester biasanya *sludge* telah matang karena telah mengalami proses penguraian di dalam alat (Setiawan 1996).

2.10 PUPUK ORGANIK

Jerami Padi dapat digunakan langsung pada tanah karena mengandung nutrient organik. Namun, nutrien tersebut tidak langsung memberikan hasil yang optimal pada tanah dalam bentuk inorganik seperti nitrat (NO_3^-) dan fosfat (PO_4^{3-}) melainkan perlu aktivitas bakteri untuk memecah nutrient organik kompleks menjadi sederhana dan akhirnya menjadi nutrient inorganik (Polprasert, 1989). Fermentasi anaerobik tidak menghilangkan banyak nutrien dari jerami maupun peternakan tetapi menyediakan nutrien yang dibutuhkan. Menurut Kristanto (2002), bahan kimia yang terdapat di dalam limbah diuraikan secara biokimia, sehingga menghasilkan bahan organik baru yang lebih bermanfaat.

Menurut Murbandono (2002), pupuk merupakan bahan-bahan yang diperlukan tanah baik langsung maupun tidak langsung. Hasil pengomposan dapat digunakan untuk pupuk tanaman yang dikenal sebagai pupuk organik. Secara umum, pupuk organik adalah pupuk yang terbuat dari bahan-bahan organik yang didegradasi secara organik. Pengomposan banyak dilakukan terhadap limbah yang mudah membusuk, limbah padat perkotaan, buangan industri, lumpur pabrik, dan sebagainya. *Sludge* yang berasal dari biogas sangat baik untuk dijadikan pupuk karena mengandung berbagai mineral yang dibutuhkan oleh tumbuhan seperti fosfor (P), magnesium (Mg), kalsium (Ca), kalium (K), tembaga (Cu), dan seng (Zn).

Berdasarkan bentuknya pupuk organik dibedakan menjadi dua yaitu pupuk organik padat dan pupuk organik cair. Pupuk organik cair yang merupakan keluaran (effluent) dari instalasi biogas baik digunakan untuk tanaman darat maupun tanaman air (Capah 2006). Pupuk organik yang baik memiliki beberapa ciri yaitu N harus berada dalam bentuk persenyawaan organik, tidak meninggalkan sisa asam organik di dalam tanah, dan mempunyai persenyawaan C yang tinggi. Syarat mutu pupuk organik padat dan cair yang direkomendasikan oleh Direktorat Jenderal Bina Sarana Pertanian, Departemen Pertanian RI, diperlihatkan pada tabel berikut.

Tabel 10. Syarat mutu pupuk organik padat dan cair

No	Parameter	Satuan	Kandungan Pupuk Organik	
			Padat	Cair
1	C-Organik	%	Min 15	≥ 4.5
2	C/N ratio		12-25	-
3	Bahan ikutan (karikil, beling, plastik)	%	Maks 2	-
4	Kadar air	%	$20 \leq x \leq 35$	-
5	Logam berat :		≤ 100	≤ 100
	Pb	ppm	≤ 20	≤ 20
	Cd	ppm	≤ 2	≤ 2
	Hg	ppm	≤ 20	≤ 20
	As	ppm		
6	pH		≥ 4 - ≤ 8	≥ 4 - ≤ 8
7	Kadar total (N + P ₂ O ₅ + K ₂ O)	%	Dicantumkan	Dicantumkan
8	Mikroba patogen (E. coli, Salmonella)	cell/ml	Dicantumkan	Dicantumkan
9	Unsur mikro (Zn, Cu, Mn, Co, Fe)	ppm	Dicantumkan	Dicantumkan

Sumber: Soekiman (2005)

Banyak penelitian yang telah dilakukan untuk meningkatkan kandungan unsur hara, baik pada pupuk padat melalui ekskresi metabolisme cacing tanah, ataupun pada pupuk organik cair melalui penambahan kandungan nitrogen dengan penggunaan urin ternak. Polprassert (1980) menyebutkan bahwa di dalam *sludge* gas bio terdapat 50% nitrogen (N) berada dalam bentuk ammonia, dan unsur hara fosfor serta kalium tidak mengalami perubahan.

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
 2. Dilarang mengurniakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.