

**BAB 2**  
**TINJAUAN PUSTAKA**

Pada pengantar bab ini merupakan deskripsi singkat yang meliputi : Biogas, Perkembangan Biogas di Indonesia, Limbah Tahu, Pemanfaatan Limbah Peternakan terhadap Pembuatan Biogas, Pengaruh Biokatalis pada Proses Pembuatan Biogas, Faktor yang mempengaruhi Biogas, dan Reaktor digester.

**2.1 Definisi Biogas**

Biogas merupakan gas yang dihasilkan dari proses penguraian bahan organik oleh aktivitas bakteri tanpa adanya oksigen (anaerobik). Gas yang dihasilkan terdiri dari gas metana ( $\text{CH}_4$ ), karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ), dengan sejumlah kecil oksigen ( $\text{O}_2$ ), hidrogen sulfida ( $\text{H}_2\text{S}$ ), karbonmonoksida ( $\text{CO}$ ), dan nitrogen ( $\text{N}_2$ ) (Hardoyo, 2014). Kandungan terbesar dalam biogas adalah gas metana yang dapat menjadi salah satu bahan bakar yang berguna karena mempunyai nilai kalor yang cukup tinggi yaitu sekitar  $8900 \text{ Kkal/m}^3$  (Sunaryo, 2014).

Biogas kira-kira memiliki berat 20 % lebih ringan dibandingkan dengan udara. Biogas tidak berbau, tidak berwarna, dan apabila dibakar akan menghasilkan nyala api biru cerah seperti gas LPG. Biogas memiliki suhu pembakaran sekitar  $650 - 750 \text{ }^\circ\text{C}$ . Efisiensi pembakaran biogas adalah 60 % pada kompor gas konvensional (Wahyuni, 2013). Komponen yang terkandung dalam biogas dari hasil fermentasi bakteri dapat dilihat pada **Tabel 2.1** berikut.

**Tabel 2.1** Komposisi Kandungan Biogas<sup>\*)</sup>

Kandungan	Jumlah (%)
Metana	54-70
Karbondioksida	27-45
Oksigen	0,1-0,5
Hidrogen Sulfide	0-3
Nitrogen	0,5-3
Hidrogen	5-10

<sup>\*)</sup> Harsono, 2013

## 2.2 Potensi Biogas di Indonesia

Energi biogas sangat potensial untuk dikembangkan. Karena produksi biogas yang bersumber dari limbah tahu, kotoran ternak, dan kulit buah pisang ditunjang oleh ketersediannya yang selama ini hanya dibuang sebagai limbah tanpa ada pengolahan lebih lanjut di Indonesia. Selain itu, terjadinya kenaikan tarif listrik, kenaikan harga LPG, minyak tanah semakin mendorong berkembangnya sumber energi alternatif yang murah, ramah lingkungan, dan berkelanjutan (Nurhasanah, 2010).

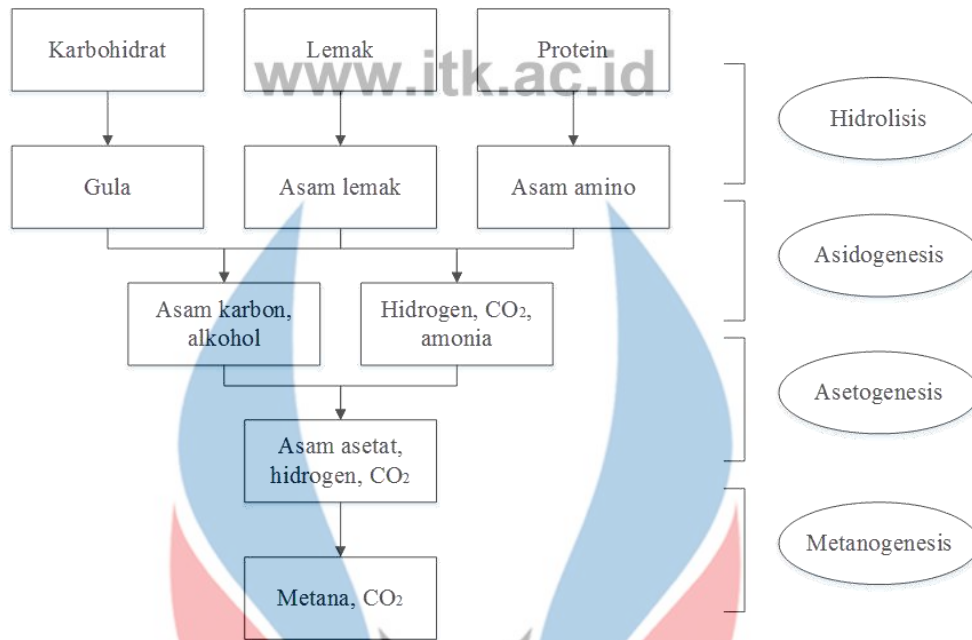
Menurut Zalizar dkk (2010), setiap 1 ekor sapi dapat menghasilkan sekitar 0,6 m<sup>3</sup>/hari. Potensi secara ekonomis biogas juga sangat besar, menurut Nisrina dan Pertiwi (2018) perbandingan nilai kalor biogas sebesar 4.785 kkal/m<sup>3</sup> dengan nilai kalor LPG sebesar 10.882 kkal/m<sup>3</sup>, dengan perbandingan harga LPG sebesar Rp 98.182 per liter sementara harga biogas hanya sebesar Rp 43.172 per liter. Di mana dengan menggunakan biogas sebagai bahan bakar alternatif pengganti LPG dapat menghemat biaya sebesar Rp 55.010.

Nilai energi biogas jika dibandingkan dengan nilai energi bahan bakar yang lain yaitu kalori dalam satu (1) m<sup>3</sup> biogas setara dengan (Pertiwiningrum, 2016):

- 6 kwh energi listrik
- 0,62 liter minyak tanah
- 0,52 liter minyak solar atau minyak diesel
- 0,46 kg elpiji
- 3,50 kg kayu bakar
- 0,80 liter bensin
- 1,50 m<sup>3</sup> gas kota

## 2.3 Proses Pembuatan Biogas

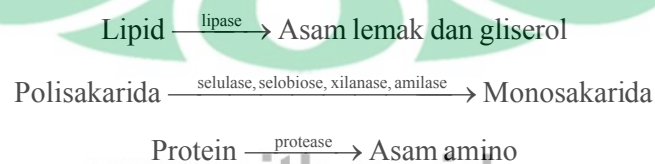
Proses pembuatan biogas terdiri dari 4 tahap utama, yaitu tahap hidrolisis, tahap asidogenesis, tahap asetogenesis dan tahap metanogenesis. Proses tersebut secara singkat disajikan dalam **Gambar 2.1** sebagai berikut:



**Gambar 2.1** Proses Pembentukan Biogas (Seadi, 2001)

### 2.3.1 Tahap Hidrolisis

Tahap hidrolisis merupakan tahap awal dari proses fermentasi. Tahap ini merupakan penguraian bahan organik dengan senyawa kompleks yang memiliki sifat mudah larut seperti lemak, protein, dan karbohidrat menjadi senyawa yang lebih sederhana. Senyawa yang dihasilkan dari proses hidrolisis diantaranya senyawa asam organik, glukosa, etanol, CO<sub>2</sub> dan senyawa hidrokarbon lainnya. Senyawa ini akan dimanfaatkan mikroorganisme sebagai sumber energi untuk melakukan aktivitas fermentasi. Sejumlah besar bakteri dalam proses hidrolisis dan fermentasi senyawa organik antara lain *Cellulomonas sp.*, *Cytophaga sp.*, *Cellvibrio sp.*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus licheniformis*, *Pseudomonas sp.* dan *Lactobacillus plantanarum* (Lestari, 2016). Bakteri ini mampu mengeluarkan enzim hidrolase sehingga mengubah biopolimer menjadi senyawa yang lebih sederhana. Proses pemecahan polimer tersebut adalah sebagai berikut (Fusvita, 2015)



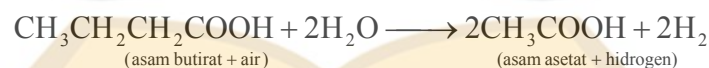
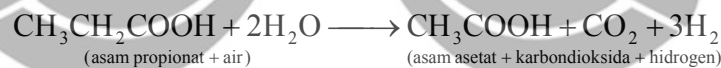
### 2.3.2 Tahap Asidogenesis

Tahap hidrolisis dilanjutkan oleh tahap pembentukan asam yang disebut dengan tahap asidogenesis. Pada tahap ini, bakteri asidogenik akan mengubah produk hidrolisis menjadi senyawa organik yang lebih sederhana seperti rantai pendek asam volatil (contohnya *propionic*, *formic*, *lactic*, *butyric*, dan *succinic*), katones (contohnya: ethanol, methanol, gliserol, aseton), dan alkohol. Adapun reaksi asidogenesis adalah sebagai berikut (Sjafruddin, 2011)



### 2.3.3 Tahap Asetogenesis

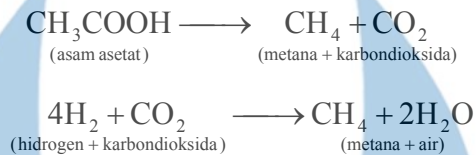
Tahap setelah asidogenesis biasa disebut tahap asetogenesis. Asetogenesis terjadi akibat fermentasi karbohidrat yang diproduksi menjadi  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}_2$ , dan asam asetat. Etanol, asam propionat, dan asam butirat diubah menjadi asam asetat oleh bakteri asetogenik (bakteri yang memproduksi asetat dan  $\text{H}_2$ ) seperti *Syntrobacter wolinii* dan *Syntrophomas wolfei* (Sunarto, 2013). Reaksi yang terjadi pada tahap asetogenesis ini adalah sebagai berikut (Hardoyo, 2014)



### 2.3.4 Tahap Metanogenesis

Tahap ini merupakan tahap yang paling kritis dan sensitif dalam proses dekomposisi bahan organik secara anaerobik karena waktu reproduksi bakteri ini sangat lambat hingga 3 hari. Konversi dari bakteri pembentuk metana menghasilkan komponen akhir yang sangat sederhana berupa gas metana ( $\text{CH}_4$ ) dan gas karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ) dari hasil reduksi asam asetat yang telah terbentuk. Bakteri yang berperan dalam tahap ini adalah bakteri metanogen seperti *methanococcus*, *methanosarcina*, dan *methano bacterium*. Tahap ini juga

melibatkan 2 kelompok bakteri metanogen yang berbeda. Bakteri metanogen asetatotrofik menguraikan asam asetat menjadi metana dan CO<sub>2</sub>, sedangkan bakteri metanogen hidrogenotropik mereduksi CO<sub>2</sub> menjadi metana. Reaksi yang terjadi pada tahap metanogenesis ini adalah sebagai berikut (Hardoyo, 2014)



## 2.4 Limbah Tahu

Limbah industri tahu terdiri dari 2 jenis, yaitu limbah cair dan padat. Limbah padat dihasilkan dari proses penyaringan dan penggumpalan, limbah ini kebanyakan oleh pengrajin dijual dan diolah menjadi tempe gabus, kerupuk ampas tahu, pakan ternak, dan diolah menjadi ampas tahu yang akan dijadikan bahan dasar pembuatan roti kering dan *cake*. Sedangkan limbah cairnya dihasilkan dari proses pencucian, perebusan, pengepresan dan pencetakan tahu, oleh karena itu limbah cair yang dihasilkan sangat tinggi. Limbah cair tahu mengandung bahan organik tinggi serta kadar BOD dan COD yang cukup tinggi pula, sehingga jika langsung dibuang ke badan air akan menurunkan daya dukung lingkungan (Subekti, 2011).

Menurut Desiana (2013) menyatakan sifat limbah cair dari pengolahan tahu antara lain sebagai berikut:

1. Limbah cair mengandung zat-zat organik terlarut yang cenderung membusuk jika dibiarkan tergenang sampai beberapa hari di tempat terbuka.
2. Suhu air tahu rata-rata berkisar antara 40 - 60°C. Suhu ini lebih tinggi jika dibandingkan dengan suhu rata-rata air lingkungan. Pembuangan secara langsung tanpa proses dapat membahayakan kelestarian lingkungan hidup.
3. Air limbah tahu bersifat asam karena proses penggumpalan sari kedelai membutuhkan bahan penolong yang bersifat asam. Keasaman limbah dapat membunuh biota laut.

Komposisi limbah cair tahu sebagian besar terdiri dari air (99,9%) dan sisanya terdiri dari partikel-partikel padat terlarut (*dissolved solid*) dan tidak terlarut (*suspended solid*) sebesar 0,1%. Pada **Tabel 2.2** berikut ini merupakan kandungan partikel-partikel padat terlarut dalam limbah cair tahu.

**Tabel 2.2** Kandungan Partikel-Partikel Padat Terlarut<sup>\*)</sup>

<b>Partikel Padat Terlarut</b>	<b>Kandungan</b>
<b>Zat organik</b>	<b>70 %</b>
- Protein	± 65 %
- Karbohidrat	± 25 %
- Lemak	± 25 %
<b>Zat anorganik</b>	<b>30 %</b>

<sup>\*)</sup> Triwikantoro, 2012

## 2.5 Karakterisasi Air Limbah Tahu

Parameter yang menggambarkan karakterisasi limbah tahu terdiri dari sifat kimia, sifat fisik, dan sifat biologi. Karakterisasi limbah tahu berdasarkan sifat kimia terdiri dari kandungan protein, lemak, *biological oxygen demand* (BOD), *chemical oxygen demand* (COD), dan kandungan bahan organik. Karakterisasi limbah tahu berdasarkan sifat fisik meliputi suhu, bau, rasa, dan kekeruhan. Sedangkan karakterisasi limbah tahu berdasarkan sifat biologi terdiri dari kandungan bakteri dalam air limbah tahu. Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 parameter utama yang dijadikan acuan baku limbah meliputi:

### 1. *Biological Oxygen Demand* (BOD)

Parameter BOD menunjukkan jumlah oksigen terlarut yang dibutuhkan oleh organisme hidup untuk memecah atau mengoksidasi bahan-bahan buangan dalam air. Semakin tinggi nilai BOD pada air limbah, maka daya saingnya dengan mikroorganisme yang terdapat pada badan penerima akan semakin tinggi. Jika suatu badan air tercemar oleh zat organik maka bakteri akan menghabiskan oksigen terlarut dalam air, sehingga dapat mengakibatkan kematian pada biota laut dan keadaan air akan menjadi anaerobik yang ditandai dengan timbulnya bau busuk. Kadar maksimum BOD yang diizinkan pada air limbah adalah 150 mg/L.

## 2. *Chemical Oxygen Demand (COD)*

Parameter COD menunjukkan banyaknya oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi secara kimia bahan organik dalam air. Nilai COD lebih besar dibandingkan dengan BOD karena kebanyakan senyawa dapat lebih mudah teroksidasi secara kimia dibandingkan secara biologi. Kadar COD dalam limbah berkurang diikuti dengan semakin berkurangnya konsentrasi bahan organik yang terdapat pada limbah. Kadar maksimum COD yang diizinkan pada air limbah adalah 300 mg/L.

## 3. *Total Suspended Solid (TSS)*

Parameter TSS adalah residu dari padatan total yang tertahan oleh saringan dengan ukuran partikel maksimal atau lebih besar dari ukuran partikel koloid. Material yang termasuk jenis TSS terdiri dari tanah liat, lumpur, logam oksida, sulfide, ganggang, bakteri, dan jamur. Kadar maksimum TSS yang diizinkan pada air limbah adalah 200 mg/L.

## 4. Nilai pH

Nilai pH merupakan parameter yang menentukan kemampuan mikroorganisme dalam memanfaatkan unsur hara. Rentang nilai pH yang sesuai bertujuan agar mikroorganisme dan biota tidak terganggu. Rentang yang diizinkan pada air limbah berkisar antara 6 - 9.

### **2.6 Pemanfaatan Limbah Kotoran Sapi terhadap Produksi Biogas**

Kotoran sapi merupakan substrat yang dibutuhkan dalam proses pembuatan biogas. Hal ini karena kotoran sapi mengandung selulosa, lignin, dan hemiselulosa yang sangat tinggi, yang akan meningkatkan pertumbuhan bakteri secara fermentif (Harahap, 2007). Selain itu diketahui bahwa kotoran sapi mengandung bakteri penghasil gas metana ( $\text{CH}_4$ ), sehingga dengan pemanfaatan kotoran sebagai bahan baku biogas akan mengkonversi bahan organik menjadi gas metana yang dapat mengurangi efek rumah kaca pada lingkungan (Rahmadian, 2012). Rasio C/N pada kotoran sapi adalah sebesar 18, dimana rasio C/N yang optimum akan dapat menghasilkan biogas yang optimal juga (Karki dan Dixit, 1984).

Tabel 2.3 Komposisi Kotoran Sapi<sup>\*)</sup>

Kandungan	Kotoran Sapi
Selulosa	22,59 %
Hemi-selulosa	18,32 %
Lignin	10,20 %
Karbon Organik	34,72 %
Nitrogen	1,26 %
Kalium	0,73 %
Fosfat	0,68 %

<sup>\*)</sup> Sarifudin dkk, 2009

Selain mengandung unsur-unsur kimia yang terdapat pada **Tabel 2.3**, kotoran sapi mengandung berbagai macam bakteri. Penelitian yang dilakukan oleh Christy, dkk (2014) terdapat 3 jenis bakteri yang ditemukan pada kotoran sapi ini. Dari 9 isolat yang ditemukan 6 bakteri merupakan bakteri hidrolitik, 1 isolat merupakan bakteri asetonik, dan 2 isolat merupakan bakteri metanogen. Bakteri-bakteri ini akan berperan dalam proses reaksi pembentukan biogas.

## 2.7 Pengaruh Biokatalis pada Proses Pembuatan Biogas

Biokatalis memiliki kegunaan untuk memperpendek fase lag (penyesuaian) dari mikroorganisme saat permulaan proses degradasi, sehingga proses degradasi senyawa organik kompleks akan semakin cepat dan efisien. Senyawa yang dihasilkan dari proses degradasi ini dibutuhkan oleh mikroorganisme penghasil biogas, sehingga produksi biogas akan meningkat (Wicaksono, 2017). Biokatalis yang umumnya digunakan dalam pembuatan biogas adalah *Effective Microorganisms 4* (EM-4). EM-4 merupakan campuran berbagai mikroorganisme yang bermanfaat terutama bakteri fotosintetik, ragi, dan bakteri asam laktat. Pada proses pembentukan biogas penggunaan biokatalis EM-4 difermentasikan dengan bahan organik (Wididana dkk, 1996). Biokatalis EM-4 sebagai bahan produksi biogas secara teknis harganya relatif terjangkau dan mudah didapatkan di pasaran (Paturhman, 2009).



## 2.8 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Proses Produksi Biogas

Berikut ini merupakan faktor-faktor yang perlu diperhatikan dalam proses produksi biogas:

### 1. Suhu

Bakteri metanogen berperan penting dalam pembentukan gas metana ( $\text{CH}_4$ ) dan gas karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ) dari hasil reduksi bahan organik. Bakteri metanogen sangat sensitif terhadap suhu. Suhu optimum bakteri metanogen adalah  $35\text{ }^\circ\text{C}$ . Jika suhu dalam kondisi suhu ekstrim tinggi maupun pada suhu rendah, bakteri metanogen menjadi tidak aktif (Wahyuni, 2013). Menurut Guyup (2017), suhu yang baik untuk proses pembentukan biogas berkisar antara  $20 - 40\text{ }^\circ\text{C}$  dan suhu optimum antara  $28 - 30\text{ }^\circ\text{C}$ . Dengan temperatur tersebut proses pembuatan biogas akan berjalan sesuai dengan waktunya.

### 2. Nilai pH

Bakteri metanogen sangat sensitif terhadap pH, dimana dalam produk biogas dapat dilakukan secara optimum jika nilai pH berada pada rentang 6 - 7. Pada kondisi pH dibawah 6 dapat menghentikan proses fermentasi, karena bakteri metanogen tidak dapat hidup dalam kondisi tersebut. Pada tahap awal proses fermentasi nilai pH yang berada dalam tangki digester dapat menjadi 6 atau bahkan lebih rendah. Hal ini terjadi akibat dari proses fermentasi pada tahapan asidogenesis dan asetogenensis menghasilkan VFA (*Volatil Fatty Acid*). Namun, setelah 2 sampai 3 minggu nilai pH mulai naik disertai dengan pembentukan bakteri pembentuk gas metana. Ketika konsentrasi metana semakin bertambah pencernaan nitrogen dapat meningkatkan nilai pH di atas 8 (Wahyuni, 2013).

### 3. Bahan Baku Isian (C/N)

Perbandingan (C/N) yang terkandung dalam bahan organik sangat menentukan kehidupan mikroorganisme dalam proses pencernaan (fermentasi) yang dilakukan. Unsur C digunakan untuk proses pembentukan gas metana, sedangkan unsur nitrogen diperlukan bakteri anaerobik untuk pembentukan sel. Perbandingan rasio (C/N) yang paling optimum adalah 30, dengan tujuan agar proses fermentasi dapat menghasilkan gas metana yang diinginkan dan untuk

mempertahankan keberlangsungan hidup mikroorganismenya. Perbandingan rasio (C/N) pada kotoran hewan dapat dilihat pada **Tabel 2.4** dibawah ini.

**Tabel 2.4** Rasio (C/N) pada Berbagai Jenis Kotoran Hewan<sup>\*)</sup>

Jenis Kotoran Hewan	Jumlah (%)
Sapi	18
Ayam	15
Kerbau	18
Babi	25
Kambing/domba	30
Manusia	6 - 10

<sup>\*)</sup> Karki dan Dixit, 1984

Pada **Tabel 2.4** didapatkan bahwa kotoran kambing mempunyai kandungan tertinggi dibandingkan dengan kotoran hewan lainnya, yaitu sebesar 30. Sedangkan kandungan rasio (C/N) terendah adalah kotoran manusia, yaitu sebesar 6 - 10.

#### 4. Kandungan Bahan Kering

Bakteri metanogen dalam keadaan optimum membutuhkan sekitar 90 % air dan 7-10 % bahan kering untuk proses fermentasi. Untuk mendapatkan kandungan bahan kering yang sesuai biasanya dilakukan pengenceran oleh air dengan perbandingan tertentu. Pada setiap kotoran hewan perbandingan komposisi air berbeda-beda, hal ini karena kandungan bahan kering optimum pada setiap kotoran hewan berbeda-beda, yang dapat dilihat pada **Tabel 2.5** berikut:

**Tabel 2.5** Nilai Bahan Kering Optimum pada Kotoran Hewan<sup>\*)</sup>

Jenis Kotoran Hewan	Kotoran Kering (%)
Sapi Perah	14
Sapi Pedaging	17
Babi	19
Kambing/Domba	26
Ayam Boiler	20

<sup>\*)</sup> Sri Wahyuni, 2008

Dengan komposisi optimum bahan kering yang berbeda perbandingan jumlah air yang digunakan berbeda. Sebagai contoh pada kotoran sapi atau kerbau harus dicampur dengan air pada perbandingan kotoran dan air adalah 1:1 atau 1:1,5. Sedangkan untuk kotoran kambing, ayam, dan babi yang relatif lebih kering, maka penggunaan air harus lebih banyak yaitu dengan perbandingan 1:2 (Harahap, 2007).

#### 5. Toksisitas (Inhibitor)

Bahan inhibitor seperti logam berat, ion mineral, dan detergen merupakan bahan yang sifatnya racun yang dapat mempengaruhi pertumbuhan bakteri di dalam digester. Jika ion – ion mineral dalam konsentrasi yang sedikit dapat merangsang pertumbuhan bakteri. Namun, jika ion-ion mineral dalam konsentrasi yang tinggi akan bersifat racun bagi bakteri (Wahyuni, 2013).

#### 6. Waktu Tinggal

Waktu tinggal merupakan rata-rata periode waktu saat bahan organik masih di dalam digester dan masih berlangsungnya proses fermentasi oleh bakteri metanogen. Lamanya waktu tinggal juga dipengaruhi oleh suhu, jika suhu proses pada 35 °C atau lebih tinggi maka waktu tinggal juga akan semakin meningkat (Wahyuni, 2013).

### 2.9 Biodigester

Biodigester merupakan alat utama dalam memproduksi biogas. Biodigester merupakan tempat material organik terurai oleh bakteri secara anaerob (tanpa udara) menjadi gas metana (CH<sub>4</sub>) dan CO<sub>2</sub>. Terdapat 3 jenis digester yang telah dikembangkan sejauh ini:

#### 1. *Fixed Dome Digester*

Pada reaktor digester *fixed dome* ini terdapat 2 bagian utama yaitu digester dan kubah tetap. Digester berfungsi sebagai tempat terjadinya proses fermentasi bahan baku organik dengan bakteri-bakteri yang akan membentuk gas metana. Struktur digester harus menggunakan material yang kuat untuk menghindari terjadinya kebocoran. Bagian yang kedua adalah kubah tetap yang berfungsi sebagai penutup digester. Bagian kubah tetap ini merupakan bagian pengumpul gas yang tidak bergerak (Fitriyah dkk, 2018).

## 2. Floating Drum Digester

Reaktor digester *floating drum* memiliki bagian yang sama dengan *fixed dome*, perbedaannya terletak pada bagian penampung gas menggunakan peralatan penggerak yang menggunakan drum. Drum ini dapat bergerak naik turun yang memiliki fungsi untuk menyimpan biogas dalam digester. Pergerakan drum mengapung pada cairan bergantung dari jumlah gas yang dihasilkan (Fitriyah dkk, 2018).

## 3. Reaktor Jenis Balon

Digester balon merupakan jenis digester yang banyak digunakan pada skala rumah tangga yang menggunakan bahan plastik sehingga lebih efisien dalam penanganan dan perubahan tempat biogas. Digester ini terdiri satu bagian yang berfungsi sebagai digester penguraian kotoran dan penampung gas sementara dalam satu ruang tanpa sekat (Fitriyah dkk, 2018).

### 2.10 Penelitian Terdahulu

Berikut ini adalah rangkuman hasil penelitian terdahulu yang memiliki keterkaitan dengan penelitian yang telah dilakukan.

**Tabel 2.6** Penelitian Terdahulu

No	Nama dan Tahun Publikasi	Hasil
1	Mohamad Rusdi Hidayat dkk, 2012	Judul : Produksi Biogas Dari Limbah Cair Industri Tahu Dengan Biokatalis <i>Effective Microorganisms 4</i> (EM-4) Hasil : Dapat mempercepat pembentukan biogas mejadi rata-rata 5,5 hari dengan kondisi optimal EM-4 0,75 % dan lama pembakaran gas metana yang diperoleh adalah 14 menit 56 detik dengan nyala api biru yang menunjukkan proses pembakaran cukup sempurna.
2	Megawati dkk, 2015	Judul : Pengaruh Penambahan EM4 ( <i>Effective Microorganism-4</i> ) Pada Pembuatan Biogas Dari Eceng Gondok dan Rumen Sapi Hasil : Penambahan EM4 dapat menurunkan rasio C/N dan memperkecil massa biogas sebesar 29,032 % serta dapat mempercepat proses fermentasi dan pembentukan biogas.
3	Hadi Purnama Putra dkk, 2016	Judul : Pengaruh Rasio Pencampuran Limbah Cair Tahu dan Kotoran Sapi Terhadap Proses Anaerob Hasil : Dengan variasi limbah cair tahu dan kotoran sapi 25 : 75 didapatkan konsentrasi COD total sebesar 782,68 mg/L dengan volume biogas sebesar 50,4 mL.

4 Purwa Saputra, 2016	Judul : Potensi Campuran Limbah Cair Industri Tahu Dan Kotoran Sapi Sebagai Substrat Penghasil Biogas Hasil : Dengan variasi limbah cair tahu dan kotoran sapi 50 : 50 dengan waktu fermentasi selama 21 hari menghasilkan volume biogas tertinggi sebesar 251 mL dan dengan variasi limbah cair tahu dan kotoran sapi 25 : 75 dengan waktu fermentasi selama 7 hari menghasilkan kadar gas metana sebesar 78,9 %.
5 Dwi Ramadhani, 2017	Judul : Pembuatan Biogas Dengan Substrat Limbah Kulit Buah Dan Limbah Cair Tahu Dengan Variabel Perbandingan Komposisi Slurry Dan Penambahan CoSubstrat Kotoran Sapi Hasil : Didapatkan kondisi optimal pada variael penambahan cosubstrat 2 liter kondisi sapi dengan volume biogas sebanyak 295 mL, kadar gas metana sebesar 53,89 %, dan nyala api biogas dengan waktu yang cukup lama.
6 Hanifah Nisrina dkk, 2018	Judul : Pemanfaatan Limbah Tahu Skala Rumah Tangga Menjadi Biogas Sebagai Upaya Teknologi Bersih Di Laboratorium Pusat Teknologi Lingkungan - BPPT Hasil : Selama waktu tinggal 14 hari limbah tahu menghasilkan biogas sebesar 1,525 L dengan penurunan kandungan COD sebesar 8,1 %, Total Solid sebesar 56,9 %, dan Volatile Solid sebesar 66,3 %.
7 Dhini Arwindah dkk, 2018	Judul : Formulasi Substrat Dasar Kotoran Kambing Dan Limbah Cair Tempe Dengan Inokulum Rumen Sapi Untuk Studi Awal Produksi Biogas Hasil : Rasio campuran substrat dasar dan inokulum yang optimal adalah 60 % : 40 % dengan volume biogas yang dihasilkan adalah 160 cm <sup>3</sup> .

