

## **BAB II**

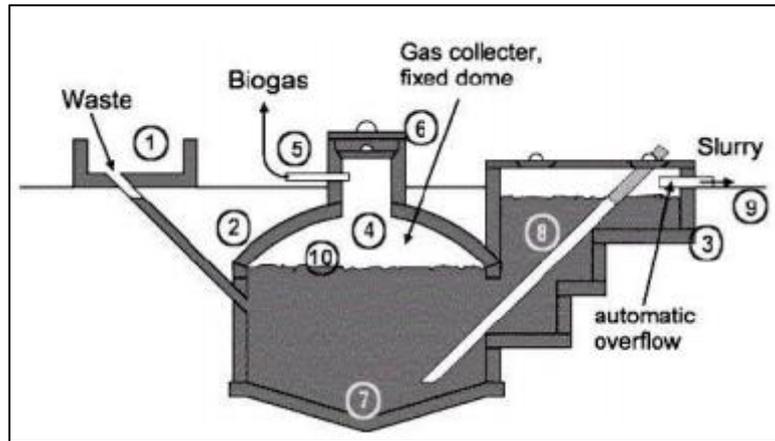
### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Biogas**

Biogas adalah zat yang mudah terbakar, diproduksi oleh bakteri anaerob (bakteri yang hidup di udara tanpa oksigen) yang memfermentasi (membusukan) bahan organik. Bahan organik adalah bahan yang dapat terurai kembali menjadi tanah, seperti kotoran hewan (sapi, kambing, sapi dan ayam). Proses fermentasi sebenarnya terjadi secara alami, namun membutuhkan waktu yang relatif lama. Biogas merupakan salah satu sumber energi terbarukan, karena keberadaan bahan bakunya akan selalu ada[5].

#### **2.2 Komponen Reaktor Biogas (*Digester*) secara umum[6]**

Ada 6 bagian utama dari reaktor: *inlet* (tangki pencampur) sebagai tempat kotoran hewan masuk, reaktor (ruang pencernaan anaerob), penampung gas (ruang penyimpanan), *outlet* (ruang pemisah), sistem pengangkut gas dan lubang kompos kotoran hewan yang telah hilang gasnya/ *bio-slurry*. Campuran kotoran dan air (dicampur dalam saluran masuk atau ruang pencampur) mengalir melalui saluran pipa menuju reaktor. Pencampur menghasilkan gas melalui proses pencernaan di reaktor dan gas yang telah dihasilkan kemudian disimpan dalam penampung gas (bagian atas kubah). Slurry mengalir keluar dari digester menuju outlet dan menjadi bio-slurry mengalir ke lubang *slurry* melalui *overflow*. Kemudian gas dialirkan ke dapur melalui saluran pipa. Model Pengembangan Biogas Indonesia umumnya terdiri dari bagian seperti berikut.



**Gambar 2. 1** Komponen reaktor biogas secara umum  
Sumber: [6]

Keterangan gambar:

1. *Inlet* (bak pencampur kotoran ternak dengan penambahan pipa masukan untuk kotoran ternak).
2. Reaktor untuk biogas/ *Digester*
3. Bak penampungan untuk lumpur sisa fermentasi (*sludge*)
4. Bak untuk penampungan gas.
5. Pipa biogas keluar (*outlet*)
6. Penutup reaktor dengan bantuan penahan gas (*gas sealed*)
7. Lumpur biogas yang aktif .
8. Pipa keluar *slurry*

## 2.3 Prinsip Dasar Biogas[7]

### A. Komposisi Biogas

Biogas dapat diartikan sebagai campuran gas yang dihasilkan oleh bakteri metanogenik terhadap material-material yang dapat diuraikan secara alami dalam kondisi anaerobik[5].

**Tabel 2. 1** Kandungan gas yang ada dalam biogas

Jenis Gas	Volume (%)
Metana (CH <sub>4</sub> )	50-70
Karbon dioksida (CO <sub>2</sub> )	30-40
Hidrogen (H <sub>2</sub> )	5-10
Gas lainnya (Hidrogen Sulfida)	sis

Biogas diperkirakan memiliki berat 20% yang lebih ringan dari udara. Suhu yang terjadi jika biogas dibakar berkisar antara 650-750°C. Biogas secara umum memiliki bau namun tidak berwarna. Bila biogas dibakar akan menghasilkan nyala api yang menyerupai LPG. Gas metana memiliki nilai kalor 20 MJ/m<sup>3</sup>. Namun gas metana memiliki dampak negatif yaitu dapat menimbulkan efek rumah kaca yang bisa memicu terjadinya pemanasan global. Hal ini dikarenakan dampaknya 21 kali lebih tinggi jika dibandingkan dengan gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>). Secara lokal pengurangan pada pemakaian gas metana dapat mengatasi permasalahan oleh pemanasan global, terutama pada efek rumah kaca yang dapat menyebabkan perubahan secara global.

## **B. Bakteri Metanogenik**

Bakteri metanogenik atau juga yang dikenal dengan metanogen merupakan bakteri yang dapat memproduksi metan serta gas lainnya dengan proses rantai hidupnya secara keseluruhan dalam keadaan anaerobik dari bahan baku organik. Sebagai organisme hidup, bakteri ini memiliki kecenderungan untuk menyukai kondisi dan peka pada iklim mikro tertentu didalam reaktor. Ada banyak spesies maupun variasi sifat-sifat dari bakteri metanogen. 3 perbedaan bakteri-bakteri pembentuk metan memiliki sifat-sifat fisiologi seperti bakteri pada umumnya. Namun, morfologi selnya heterogen. Beberapa bentuk batang bulat, sedangkan lainnya termasuk kluster bulat yang disebut *sarcine*. Famili metanogen (bakteri metana) digolongkan menjadi empat genus berdasarkan perbedaan-perbedaan sitologi. Bakteri yang berbentuk batang (a) tidak berspora, *methanobacterium* (b) berspora, *methanobacillus*. Bakteri yang berbentuk lonjong, yaitu (c) *sarcine*, *methanosarcina* (d) bukan termasuk grup sarcinal, *methanococcus*. Perkembangan bakteri metanogenik lambat dan cukup sensitif terhadap perubahan mendadak pada kondisi fisik dan kimiawi. Sebagai contoh, penurunan 2°C secara mendadak pada *sludge* di dalam reaktor secara signifikan memungkinkan berpengaruh pada pertumbuhannya dan laju pada produksi biogas.

### C. Proses Fermentasi

Proses fermentasi Biogas mengacu pada berbagai reaksi dan interaksi yang terjadi di antara bakteri metanogen dan non-metanogen serta bahan yang diumpamakan ke dalam digester sebagai input. Penghancuran input yang merupakan bahan organik dicapai dalam tiga tahap, yaitu sebagai berikut:[8]

a. Hidrolisis

Pada tahap ini, bahan-bahan organik yang memiliki kandungan selulosa, hemiselulosa dan bahan ekstraktif seperti protein, karbohidrat dan lipida akan diurai menjadi senyawa dengan rantai yang lebih pendek. Reaksi yang terjadi pada tahap ini sebagai berikut:



b. Pengasaman (*acidification*)

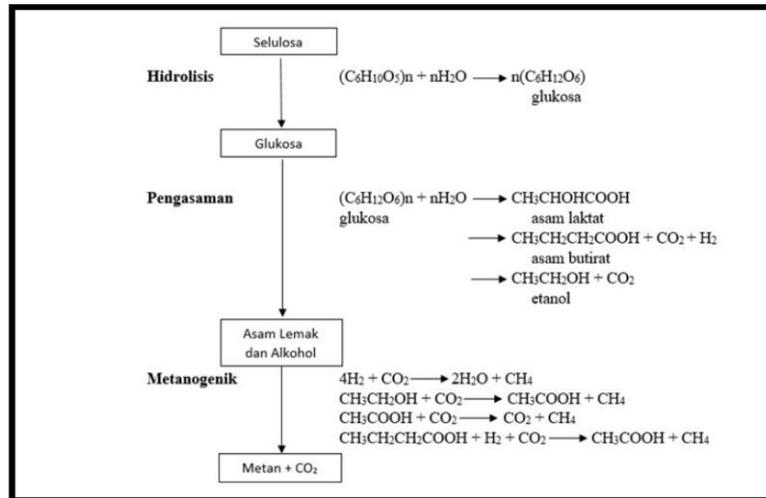
Pada tahap ini, bakteri akan menghasilkan asam yang akan berfungsi untuk mengubah senyawa pendek hasil hidrolisis menjadi asam asetat, H<sub>2</sub> dan CO<sub>2</sub>. Bakteri ini merupakan bakteri anaerob yang dapat tumbuh pada keadaan asam. Untuk menghasilkan asam asetat, bakteri memerlukan oksigen dan karbon yang diperoleh dari oksigen yang terlarut dalam larutan. Selain itu, bakteri tersebut juga mengubah senyawa yang bermolekul rendah menjadi alkohol, asam organik, asam amino, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S dan sedikit gas CH<sub>4</sub>. Reaksi yang terjadi adalah:



c. Metagenosis

Setelah bahan organik berubah menjadi asam-asam, maka pada tahap *methanogenesis* dari proses *anaerobic digestion* adalah pembentuk metana seperti *methanococcus*, *methanosarcina*, *methano bacterium*. Pemrosesan dari metogenesis berlangsung selama 14 hari dimana keadaan suhunya 35°C di dalam digester.

Kondisi optimumnya tahap metagenosis adalah pada pH 6,8-7,2



**Gambar 2. 2** Tahapan Pembentukan Biogas  
Sumber: [7]

## 2.4 Reaktor Biogas[6]

### A. Berdasarkan Pengisiannya

#### 1. Non-kontinu

Reaktor non-kontinu adalah jenis wadah penyimpanan yang pengisian bahan organik (campuran bahan organik dan air) dilakukan hanya sekali saja namun sekali pengisian sampai penuh, setelahnya proses pembentukan biogas ditunggu. Setelah biogas tidak diproduksi lagi atau produksinya menurun, isianya dapat dibongkar, lalu dilakukan pengisian kembali dengan cara yang sama.

#### 2. Kontinu

Reaktor kontinu adalah jenis reaktor yang pengisian dilakukan dengan jumlah tertentu. Pada pengisian awal, reaktor diisi mendekati penuh, lalu ditunggu sampai biogas diproduksi. Setelah biogas sudah mulai diproduksi, untuk pengisian bahan organik dapat dilakukan secara berkelanjutan dengan jumlah tertentu. Setiap bahan organik yang diisi akan selalu diikuti pengeluaran bahan sisa (*sludge*). Karena itulah, pada reaktor ini didesain dengan membuat lubang pemasukan dan lubang pengeluaran.

## **B. Jenis-jenis Reaktor Biogas**

### **1. Tipe kubah (*fixed dome*)**

Reaktor kubah tetap pertama kali dibuat di Cina pada tahun 1930-an, sehingga reaktor ini juga sering disebut reaktor Cina. Reaktor ini memiliki dua bagian, yaitu sebagai tempat pencerna material dan rumah untuk bakteri, baik bakteri pembentuk asam maupun pembentuk gas metana. Pada umumnya reaktor ini dibuat menggunakan batu, batu-bata, atau beton agar memiliki struktur yang kuat agar gas yang tertahan didalamnya tidak bocor. Bagian keduanya adalah kubah tetap (*fixed dome*). Dinamai demikian dikarenakan bentuknya yang menyerupai kubah dan merupakan pengumpul gas yang tidak bergerak (*fixed*).

Hasil gas dari reaktor akan mengalir dan disimpan dibagian kubah. Kontruksi yang menjadi lebih murah pada reaktor ini dibandingkan dengan reaktor terapung karena tidak memiliki bagian yang bergerak, sementara kerugiannya adalah mudah retak bila gempa terjadi dan akan sulit memperbaiki kebocorannya. Reaktor kubah juga memiliki pori-pori sehingga gas mudah bocor.

### **2. Tipe silinder (*floating drum*) terbuat dari tong/ drum/ plastik**

Reaktor jenis terapung (*floating drum*) pertama kali dikembangkan di India pada tahun 1937 sehingga sering dikenal menjadi reaktor India. Bagian dari reaktor ini mirip dengan reaktor kubah, namun memiliki perbedaan pada penampung gasnya karena bergerak dari drum. Drum pada reaktor ini berfungsi sebagai penyimpan dari gas yang ada di reaktor, dalam pengaplikasiannya ia akan mengalami pergerakan naik turun karena jumlah gas yang dihasilkan.

Reaktor jenis terapung memiliki keuntungan bahwa pengguna dapat mengetahui secara langsung volume gas yang ada di reaktor. Sementara itu, kelemahan dari reaktor ini

cenderung mahal karena konstruksi material drum. Faktor permasalahan dari reaktor ini adalah drum dapat mengalami korosi sehingga umur dari reaktor ini lebih pendek dari reaktor tipe kubah.

### **3. Tipe plastik (reaktor balon)**

Dalam skala rumah tangga reaktor balon menjadi pilihan yang cukup banyak karena menggunakan bahan plastik sehingga lebih efisien dalam penanganannya serta jika melakukan perubahan tempat biogas. Reaktor tipe ini hanya terdiri dari satu bagian yang berfungsi sebagai penyimpan gas sekaligus sebagai tempat pengisian material organik. Material organik akan berada pada posisi bawah dikarenakan massanya lebih dari gasnya. Kelemahan reaktor tipe ini yaitu mudah bocor namun harganya relatif lebih murah

### **4. Tipe *fiberglass***

Reaktor fiberglass merupakan reaktor yang cukup banyak digunakan pada skala rumah tangga maupun industri, karena bahannya menyebabkan penanganannya lebih efisien seperti dalam hal perubahan tempat. Reaktor ini memiliki satu bagian yang berfungsi sebagai wadah material organik dan penyimpanan gas yang bercampur dalam satu ruangan tanpa adanya sekat.

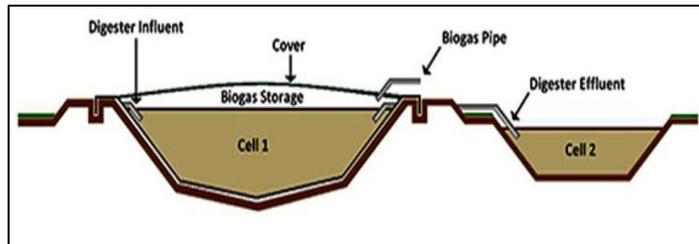
Reaktor *fiberglass* memiliki sifat kedap, ringan dan kuat. Jika terjadi kebocoran mudah diperbaiki dan dapat dipindah semisal pengguna tidak menggunakannya lagi.

## **C. Beberapa desain reaktor Biogas[9]**

### **1. *Covered lagoon***

Prinsip sistem *covered lagoon* yaitu dengan menutup kolam oleh bahan yang kedap agar menangkap gas yang terbentuk di kolam. Desain ini biasanya hanya terdiri dari dua bagian kolam, yang pertama ditutup kedap sedangkan kedua dibuka sebagai proses lanjutan. Sistem pada desain ini memiliki kelebihan dari

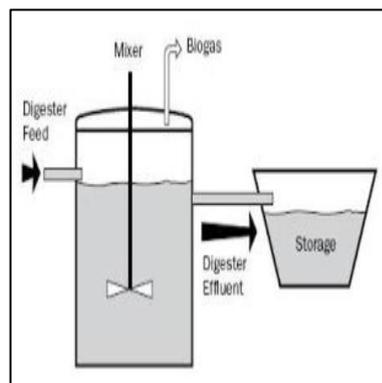
berbagai hal seperti konstruksi, pengoperasian, dan perawatannya cukup mudah, namun memiliki kelemahan yaitu dibutuhkannya lahan yang luas dan prosesnya terbatas. Sistem desain ini dapat ditingkatkan dengan mengaplikasikan pengadukan tepat pada kolam.



**Gambar 2. 3** Prinsip Desain *Covered Lagoon*  
Sumber: [9]

## 2. CSTR

CSTR juga merupakan singkatan dari *Stirred Tank Reactors* merupakan reaktor dasar dimana reaktornya berbentuk tangki diisi secara kontinu dan memiliki pengadukan. Substrat yang dialirkan dari inlet akan mendorong sejumlah substrat yang sama keluar. Pengadukan pada reaktor dapat dilakukan secara terus menerus maupun berkala. Sistem CSTR dapat dilakukan dalam satu tangki namun pengaplikasiannya juga dapat dirangkai secara seri.

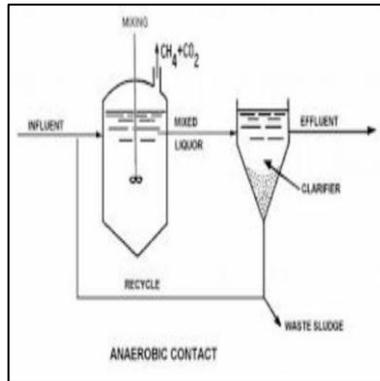


**Gambar 2. 4** *Continuous Stirred Tank Reactors (CSTR)*  
Sumber: [9]

## 3. CSTR dengan Resirkulasi Padatan

Sistem utama dari desain ini adalah konsorsium mikroorganisme yang bekerja sama dalam beberapa tahapan

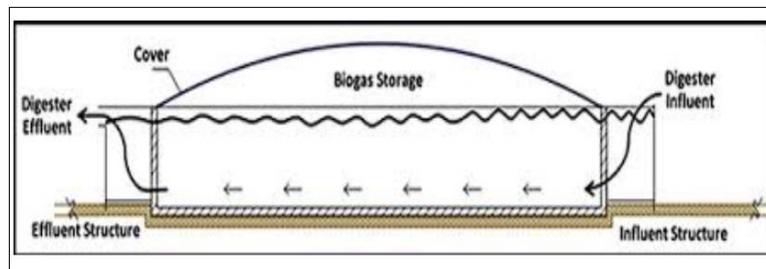
biogas. Proses penguraian dari bahan organik bisa lebih cepat jika mikroorganismenya semakin lengkap dan banyak. Salah satu cara mempertahankan mikroorganisme adalah dengan meresirkulasi mikroorganisme aktif kembali ke reaktor setelah melalui proses pengendapan di *clarifier* yang sering disebut dengan *contact stabilization reactor*.



**Gambar 2. 5** CSTR dengan resirkulasi padatan  
Sumber: [9]

#### 4. *Plug Flow Digester*

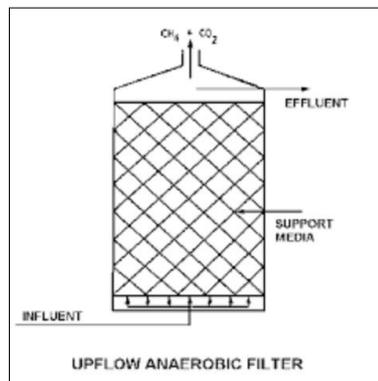
Desain dari reaktor *Plug flow* hampir sama dengan sistem CSTR, substrat yang masuk akan mendorong substrat yang didalam agar keluar. Material pada sistem ini biasanya cukup kental guna menghindari terjadi pengentalan di bawah. Sistem *plug flow* tidak memerlukan pengadukan secara manual. Biasanya bentuk dari desain reaktor ini memanjang dengan panjang sekitar lima lebar reaktor.



**Gambar 2. 6** *Plug Flow Digester*  
Sumber: [9]

#### 5. *Fixed Bed Reactors (FBR)/ Fixed Film Digester*

Reaktor ini terdiri dari tangki anaerobik yang dilengkapi dengan *support material* sebagai tempat melekatnya mikroorganisme. Bahan yang melekat pada reaktor ini berupa kerikil atau plastik maupun material lain yang bertujuan sebagai wadah tumbuhnya bakteri maupun mikroorganisme pendegradasi. Semakin luas wadah untuk tumbuhnya mikroorganisme, maka semakin cepat proses berlangsung. Reaktor ini memiliki keuntungan yaitu stabilitas biologis karena mikroorganismenya yang melekat menyebabkan peluang terjadinya *wash out* lebih kecil. Namun kelemahan dari desain ini membutuhkan investasi yang harganya tidak murah.

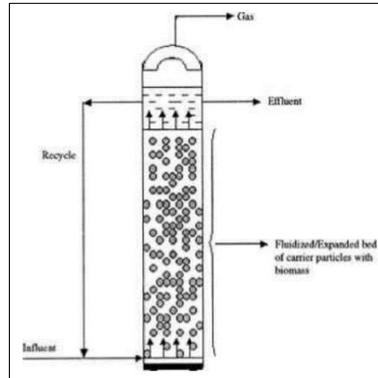


**Gambar 2. 7** *Fixed Bed Reactor (FBR)/ Fixed Film Digester*  
Sumber: [9]

## 6. *Fluidized dan Expanded Bed Reactor*

Pada reaktor ini mikroorganisme untuk menempel pada partikel kecil (antrasit, plastik, pasir atau bahan yang lain). Partikel tersebut mengangkat dan akan mengembang ke atas oleh aliran influen. Dengan sistem ini reaktor masih bisa mengolah bahan padatan tersuspensi ukuran kecil, tapi tidak buntu. *Expanded bed reactor dan fluidized bed reactor* memiliki perbedaan dimana pasir atau material tempat menempelnya bakteri akan mengembang sebesar 10-20%, sedangkan *fluidixed* antara 30-90%. Adapun resiko dari sistem ini adalah hilangnya partikel-partikel pembawa tersebut dari reaktor disebabkan adanya perubahan berat jenis, debit, dan sebagainya. Pada

sistem ini harus memperhatikan pengaturan ukuran partikel maupun berat jenis dari flok. Oleh karena itu, pengoperasian pada sistem ini termasuk sulit.

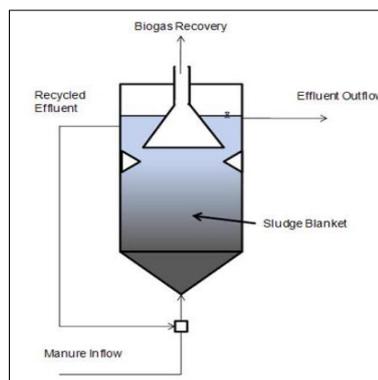


**Gambar 2. 8** *Fluidized/ Expanded Bed Digester*  
Sumber: [9]

### 7. UASB's Reactor

Pada sistem UASB air limbah memasuki tangki anaerobik oleh aliran ke arah atas reaktor vertikal yang sudah terdapat *sludge*.

Sistem desain UASB lebih fokus pada pertumbuhan bakteri tersuspensi yang tepat dengan waktu tinggal atau *hidrolic retention time* (HRT). Laju beban organik atau *organic load rate* (OLR) harus dijaga untuk proses granulasi. Sistem UASB memerlukan volume reaktor yang relatif kecil, namun sistem yang dibutuhkan kompleks,



**Gambar 2. 9** *Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) Digester*  
Sumber: [9]

## 2.5 Pemilihan Reaktor Biogas berdasarkan bahan

Reaktor biogas telah banyak mengalami perkembangan seperti pada bahan yang digunakan dimana masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan sebagai berikut[10].

**Tabel 2. 2** Pemilihan reaktor berdasarkan bahan

Beton/bata	Fiber Glass	Plastik
Pembangunan harus teliti dan butuh waktu yang lama.	Produk pabrik, sistem <i>knock down</i> sangat kedap udara, waktu pasang singkat	Konstruksi sederhana, waktu pasang singkat
Tidak dapat dipindahkan	Dapat dipindah, mudah direnovasi	Dapat dipindah tapi mudah rusak
Jika bocor susah dideteksi	Jika bocor mudah dideteksi dan diperbaiki	Jika bocor susah Diperbaiki
Biaya konstruksi agak mahal	Biaya konstruksi agak mahal	Biaya konstruksi murah
Oprasional mudah langsung disalurkan ke dalam reaktor	Operasional mudah, kotoran dapat langsung disalurkan ke dalam reaktor	Operasional agak rumit, kotoran dimasuki pakai tangan
Daya tahan tergantung saat pembuatan	Daya tahan kuat, tahan segala cuaca, tahan 10 -15 tahun	Daya tahan sangat kurang mudah rusak

## 2.6 Perumusan dalam pembuatan biogas

### a. Ketersediaan bahan baku biogas

Ketersediaan bahan baku biogas dapat dihitung dengan:

$$BB = n \times \text{kotoran ternak yang diperoleh perhari}$$

Keterangan:

$$BB = \text{ketersediaan bahan baku biogas (kg)}$$

$$n = \text{jumlah ternak (ekor)}$$

$$\text{kotoran ternak perhari (kg)}$$

**b. Potensi Produksi gas**

Potensi produksi gas dapat dihitung dengan:

$$PG = \text{Potensi produksi gas (m}^3\text{)}$$

Produksi gas (m<sup>3</sup>)

**c. Volume reaktor**

Volume reaktor dapat dihitung dengan:

$$V = La \cdot h$$

Keterangan:

$$V = \text{Volume reaktor (m}^3\text{)}$$

$$La = \text{Luas permukaan alas (m}^2\text{)}$$

$$h = \text{ketinggian dari reaktor (m)}$$

**d. Volume Slurry**

Volume *slurry* yang optimal dimasukkan dalam reaktor dapat dihitung dengan:

$$V_s = \frac{3}{4} V$$

Keterangan:

$$V_s = \text{Volume slurry (m}^3\text{)}$$

$$V = \text{Volume digester (m}^3\text{)}$$

**e. Tekanan pada manometer U**

Tekanan dihitung dengan menggunakan rumus hukum Boyle.

$$P = \rho \cdot g \cdot h + \text{tekanan atmosfer}$$

Keterangan:

$$P = \text{Tekanan absolut (N/m}^2\text{)}$$

$$\rho = \text{Densitas zat cair (kg/m}^3\text{)} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$h = \text{Perbedaan ketinggian kolom zat cair yang digunakan (m)}$$

$$1 \text{ atm} = 101.325 \text{ N/m}^2$$

$$1 \text{ N/m} = 9,869 \times 10^6$$

**2.7 Penelitian Terdahulu**

Beberapa penelitian terdahulu yang menjadi referensi serta rujukan dalam tugas akhir ini dapat dilihat pada tabel 2.3 sebagai berikut:

**Tabel 2. 3 Penelitian terdahulu**

No	Penulis	Judul penelitian	Hasil
1	Agus Haryanto (2019)	Pengaruh Komposisi Substrat dari Campuran Kotoran Sapi dan Rumput Gajah ( <i>Penisetrum purepureum</i> ) terhadap Produktivitas Biogas pada Digester Semi Kontinu	-Didapatkan bahwa produksi biogas dapat dihasilkan dengan perbandingan TS 50:50 dari bahan baku kotoran sapi dan rumput gajah. -Produksi biogas rata-rata harian tidak berbeda signifikan dalam kisaran antara $7,18 \pm 0,28$ L hingga $7,60 \pm 0,38$ L [11]
2	M.C. Tri Atmodjo	Perancangan Tangki Biogas Portabel Sebagai Sarana Produksi Energi Alternatif di Pedesaan	-Gas metan yang dihasilkan perhari berkisar 0,56- 0,68 m <sup>3</sup> / hari pada tekanan 1 atmosfer yang setara dengan 0,26 kg gas elpiji -Dengan biaya konstruksi sebesar Rp910.000,00 dana konstruksi diperkirakan kembali dalam waktu 2 tahun. [12]
3	Guyup Mahardian Dwi Putra, Sirajuddin Haji Abdullah, Asih Priyati Diah Ajeng	Rancang Bangun Reaktor Biogas Tipe Portable Dari Limbah kotoran Ternak Sapi	-Dari hasil rancangan diperoleh dimensi biodigester dengan tinggi 92 cm dan jari-jari 26 cm, menghasilkan kapasitas sebesar 200 Liter campuran kotoran sapi dengan air. [13]