

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Bab 2 merupakan tinjauan pustaka yang membahas mengenai dasar teori yang berkaitan dengan topik bahasan maupun dari penelitian sebelumnya yang menjadi acuan dalam penulisan tugas akhir.

2.1 Biogas

Biogas adalah campuran gas yang dibentuk dari penguraian berbahan organik dengan bantuan bakteri melalui proses fermentasi *anaerob* (kedap udara) sehingga menghasilkan gas bio berupa gas metana (CH_4) yang dapat dikelola. Biogas dapat diproduksi selama 5 hari setelah digester terisi penuh, dan akan mencapai puncaknya dalam 20 hari sampai 25 hari. Proses produksi biogas yang harus diperhatikan adalah sumber bahan baku atau limbah yang digunakan karena kualitas dan kuantitas biogas yang dihasilkan akan sangat berpengaruh (Yahya, Tamrin dan Triyono, 2017).

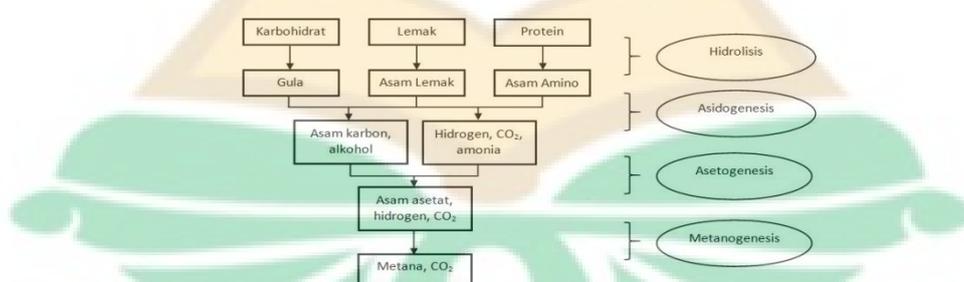
Biogas diproduksi oleh fermentasi *anaerob* yang memproses berbagai komponen limbah organik, seperti limbah organik padat dan limbah organik cair. Jumlah biogas tergantung pada masing-masing komponen limbah. Pada beberapa penelitian, proses produksi biogas pada limbah organik padat awalnya jauh lebih lambat dibandingkan limbah organik cair. Namun, pada akhirnya biogas yang dihasilkan dari limbah organik padat dapat menyusul sebagian besar biogas dalam limbah organik cair. Limbah organik padat berpotensi menjadi sumber energi alternatif dengan menyumbang 56,22% dari total *output* CH_4 dari limbah organik cair. Di sisi lain, limbah organik cair hanya menyumbang 43,45% dari total *output* CH_4 dari limbah organik padat. Pengaruh limbah organik dan komponen kotoran sapi terhadap kualitas dan kuantitas biogas menunjukkan bahwa biogas yang dihasilkan dari kotoran hewan dan limbah organik menghasilkan jumlah biogas tertinggi (Armi dan Mandasari, 2017).

2.2 Kandungan Biogas

Kandungan Biogas sebagian besar terdiri dari 54% hingga 70% gas metana (CH_4), 27% hingga 35% karbon dioksida (CO_2), 0,1% karbon monoksida (CO), 0,1% oksigen (O_2) dan beberapa kandungan gas yang jumlahnya sangat sedikit seperti nitrogen (N), hidrogen (H_2), dan hidrogen sulfida (H_2S). Gas metana memiliki nilai kalor yang sangat tinggi yaitu 4800 hingga 6700 kkal/m³, sedangkan gas metana murni memiliki energi 8900 kkal/m³, menjadikannya bahan bakar yang bermanfaat. Karena nilai kalornya yang tinggi, biogas dapat digunakan untuk penerangan, memasak, menggerakkan mesin, dll. Kesetaraan antara biogas dan sumber energi lainnya yaitu, untuk setiap 1 meter³ biogas setara dengan *liquefied petroleum gas* (LPG) 0,46 kg, diesel 0,62 liter, bensin 0,52 liter, minyak tanah 0,80 liter, kayu bakar 3,5 kg, dan 1,5 meter³ setara gas kota. Biogas sekitar 20% lebih ringan dari udara. Biogas tidak berbau dan tidak berwarna, dan ketika dibakar, menghasilkan nyala api biru terang mirip dengan *liquefied petroleum gas* (LPG). Kompor biogas konvensional memiliki efisiensi pembakaran biogas sekitar 60% (Saputra, 2016).

2.3 Proses Pembentukan Biogas

Secara umum pembentukan biogas memanfaatkan proses pembusukan dari limbah organik secara *anaerob* (bakteri yang hidup pada kondisi kedap udara). Proses pembentukan biogas terdiri dari hidrolisis, *asidogenesis*, *asetogenesis*, dan *metanogenesis*. Skema proses pembentukan biogas sebagai berikut:

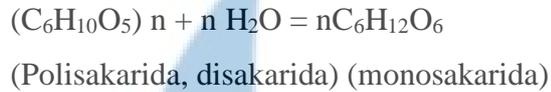


Gambar 2.1 Skema proses pembentukan biogas (Saputra, 2016)

Pada umumnya proses pembentukan biogas meliputi empat tahap yaitu:

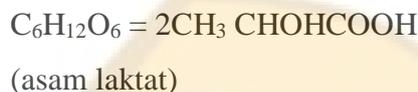
1. Tahap Hidrolisis

Hidrolisis adalah proses penguraian senyawa melalui air. Senyawa yang terkandung pada partikular dan limbah, seperti karbohidrat, lemak, dan protein koloid akan melalui proses hidrolisis di dalam digester *anaerob*. Gabungan dari molekul-molekul kecil ini disebut juga sebagai senyawa polimer. Berikut unsur kimia pada tahap hidrolisis:



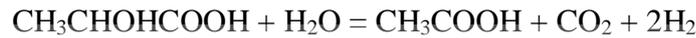
2. Tahap *Acidogenesis*

Setelah melalui proses hidrolisis, kemudian akan tercerna secara fermentasi oleh mikroba *acidogenesis* sebagai bahan baku substrat pada pembentukan metana, tahap ini disebut sebagai *acidogenesis*. Hasil dari *acidogenesis* dikonversi menjadi hasil akhir bagi produksi metana berupa asam asetat, hidrogen, dan karbon dioksida. Asam asetat merupakan produk utama yang digunakan sebagai bahan baku oleh mikroba dalam pembentukan metana. Berikut unsur kimia pada tahap *acidogenesis*:

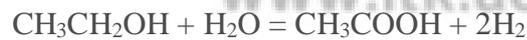


3. Tahap *Acetogenesis*

Asam asetat juga diproduksi dari produk yang tidak dapat langsung digunakan oleh mikroba pembentuk metana (CH_4), yaitu etanol pada alkohol dan asam propinat, butirat pada asam lemak *volatile* (VFA). Tahap ini disebut sebagai *acetogenesis*. Berikut unsur kimia pada tahap *acetogenesis*:



(asam asetat)

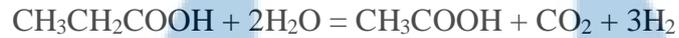


(etanol)

(asam asetat)



(asam asetat)



(asam asetat)

4. Tahap *Metanaogenesis*

Pembentukan gas metana (CH_4) sebagian besar didasarkan pada asam asetat, hidrogen dan karbon dioksida, dan sebagian lainnya terbentuk dari alkohol dan asam organik. Sebanyak 70% dari gas metana pada *metanaogenesis* dibentuk dari bahan baku asam asetat, sedangkan sisanya berasal dari perubahan hidrogen dan karbon dioksida. Berikut unsur kimia pada tahap *metanaogenesis*:



(metana)



(asam asetat) (metana)



(asam asetat) (metana)



(metana)

(Wicaksono, 2016)

2.4 Faktor-Faktor Pembentukan Biogas

2.4.1 Temperatur Fermentasi

Secara umum, temperatur biogas yang sangat tinggi dapat mempengaruhi produksi biogas. Akan tetapi, temperatur yang bagus tidak melebihi suhu kamar. Temperatur optimum baik bagi bakteri metanaogen adalah 35°C . Ketika temperatur turun sampai 10°C , maka produksi biogas akan berhenti. Produksi biogas yang sangat baik, ketika dalam kondisi mesofilik antara temperatur 25°C

dan 30°C. Perbandingan antara temperatur lingkungan maupun temperatur substrat tidak berbeda jauh, meskipun temperatur lingkungan berubah-ubah. Perbandingan yang jauh antara temperatur lingkungan dan substrat dapat diakibatkan aktivitas bakteri pada substrat yang menghasilkan panas. Oleh sebab itu, pembuatan digester *anaerob* harus lebih dipertimbangkan, karena pada suhu dingin biasanya reaksi bakteri lebih lambat sehingga biogas yang dihasilkan rentang lebih lama (Saputra, 2016).

2.4.2 Slurry

Slurry merupakan limbah sisa yang keluar dari lubang pengeluaran digester setelah mengalami proses fermentasi oleh bakteri metanaogen dalam kondisi fermentasi *anaerob* dalam bentuk lumpur. Setelah mengekstrak biogas, *slurry* yang dihasilkan dari dalam tank digester dari proses pencernaan secara *anaerob* dapat dikelola (Saputra, 2016).

2.4.3 Kadar air

Campuran air sangat berperan penting pada proses pembuatan biogas. Apabila pembuatan biogas dari limbah kering seperti limbah ternak kering dicampur dengan sisa-sisa limbah rumput atau dengan bahan limbah kering lainnya, maka diperlukan penambahan air. Berbeda dengan limbah yang akan digunakan berbentuk lumpur dari selokan yang sudah mengandung bahan organik sangat tinggi, seperti dari bekas sisa pemotongan hewan yang dicampur dengan limbah organik basah maka tidak diperlukan penambahan air yang berlebihan. Takaran jumlah air yang digunakan tidak terlalu berlebihan dan tidak terlalu kekurangan (Saputra, 2016).

2.4.4 Starter

Starter diperlukan untuk mempercepat proses penyusunan limbah organik. Untuk mempercepat terjadinya proses fermentasi, maka pada awal pengumpan perlu ditambahkan cairan yang telah mengandung banyak bakteri metanaogen yang disebut dengan *starter* (Karlina, 2017).

2.4.5 Pengadukan

Pengadukan pada digester berfungsi untuk menjaga tidak terjadinya endapan atau kerak di dasar digester. Endapan atau kerak yang sudah terbentuk di dasar digester dapat menghambat aliran gas sehingga, jumlah biogas yang akan dihasilkan dapat berpengaruh. Selain itu dengan adanya pengaduk pada digester mampu meningkatkan kontak antara mikroba dengan substrat sehingga bakteri memperoleh nutrisi dengan baik (Yuwono dan Soehartanto, 2013).

2.5 Bahan Baku Biogas dari Kotoran Sapi

Kotoran sapi merupakan gas penyumbang efek rumah kaca dikarenakan menghasilkan gas metana. Dengan memanfaatkan kotoran sapi sebagai bahan baku pembuatan biogas maka pembakaran gas metana pada biogas akan mengubahnya menjadi CO₂ sehingga mengurangi jumlah efek dari rumah kaca serta memanfaatkan energi terbarukan (Wulandari dan Labiba, 2017).

Tabel 2.1 Komposisi Biogas Kotoran Sapi

Jenis Gas	%
Metana (CH ₄)	65,7
Karbondioksida (CO ₂)	27,0
Nitrogen (N ₂)	2,3
Karbon Monoksida (CO)	0
Oksigen (O ₂)	0,1
Propena (C ₃ H ₈)	0,7
Hidrogen Sulfida (H ₂ S)	-
Nilai kalori (kkal/m ²)	6531

*) Wulandari dan Labiba, 2017

Dari tabel diatas kotoran sapi memiliki nilai C/N ratio sebesar 16,6% sampai 25%. Produksi gas metana sangat tergantung oleh rasio C/N dari substrat. Rasio C/N antara 25 sampai 30 adalah nilai optimum untuk proses penguraian *anaerob*. Dengan rasio C/N terlalu tinggi nitrogen akan sangat cepat di konsumsi

oleh bakteri metanaogen untuk memenuhi kebutuhan protein dan tidak akan bereaksi lagi dengan karbon yang tersisa. Sebagai hasilnya produksi gas rendah dengan rasio C/N sangat rendah, maka nitrogen dapat dibebaskan dan terkumpul dalam bentuk NH_4OH (Wulandari dan Labiba, 2017).

2.6 Bahan Baku Biogas dari Limbah Ampas Tahu

Limbah cair ampas tahu merupakan limbah yang berpotensi mencemari lingkungan. Limbah cair ampas tahu dapat merusak lingkungan apabila penggunaannya tidak tepat seperti pembuangan limbah cair ke sungai yang mengganggu ekosistem air, dapat menimbulkan bau tidak sedap dan sumber penyakit (Sally dkk, 2019).

Kandungan biogas dapat menghasilkan gas seperti CH_4 , CO_2 , dan H_2S karena proses *anaerobik* yang dilakukan oleh bakteri metana. Dalam hal ini CH_4 memiliki nilai kalori yang tinggi, sehingga gas metana (CH_4) dapat digunakan sebagai bahan bakar. Biogas yang dihasilkan dari dekomposisi *anaerobik* terdiri dari metana 55% sampai 70%, karbondioksida 30% sampai 45%, dan beberapa kandungan air. Ampas tahu memiliki kandungan nutrisi yang dapat dikelola secara baik. Salah satunya adalah dengan meningkatkan rasio C/N sebagai pengisi biogas. Limbah ampas tahu memiliki kandungan air sebesar 82,69%, lemak 0,62%; protein 2,42%; karbohidrat 13,71%; dan rasio C/N 12% (Nurhilal dkk, 2020).

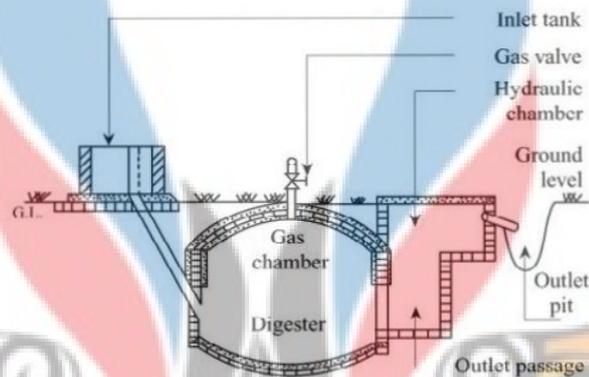
2.7 Perkembangan Teknologi Digester Biogas

Untuk mendapatkan biogas dari bahan organik, diperlukan alat yang disebut biogas digester. Biogas digester harus menggunakan penampungan yang dapat menyimpan bahan campuran limbah dengan memperhatikan proses fermentasi *anaerob* (kedap udara) sehingga menghasilkan gas bio berupa gas metana yang dapat dikelola. Biogas yang dihasilkan dikirim ke penyimpanan biogas, dan lumpur fermentasi yang tersisa juga dilepaskan pada saat yang sama untuk menjadi pupuk alami, yang dapat digunakan untuk pertanian dan penanaman. Teknologi biogas terus berkembang. Berbagai jenis model digester

yang digunakan menunjukkan ini. Ada empat jenis digester, masing-masing dengan kelebihan dan kekurangan.

1. *Fixed domed plant*

Jenis *fixed domed plant* terdiri dari tangki pencernaan dan tangki penyimpanan gas. Ketika gas dihasilkan, lumpur sisa (*slurry*) didorong ke bak lumpur. Ketika kotoran ternak terus dipasok, gas yang dihasilkan terus menekan lumpur sampai meluap ke lubang lumpur. Gas yang dihasilkan digunakan dan dilepaskan dalam pipa gas dengan katup (Pertiwiningrum, 2015).

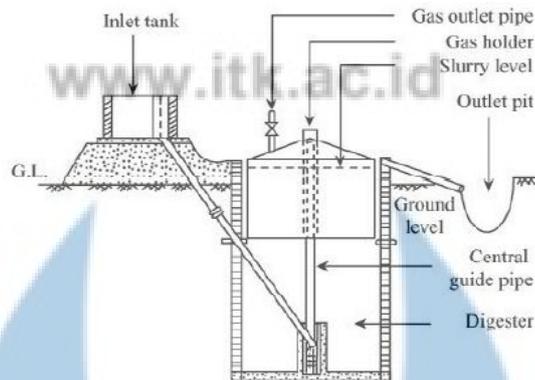


Gambar 2.2 Jenis digester *fixed domed plant* (Pertiwiningrum, 2015)

Keunggulan dari jenis ini adalah tidak ada bagian yang bergerak, konstruksi lebih awet, konstruksi dibangun di dalam tanah sehingga terlindung dari cuaca dan tidak membutuhkan ruang (diatas tanah), suhu yang dihasilkan tetap stabil. Jenis ini juga memiliki kelemahan pada bagian penampungan biogas dapat mudah retak dan tekanan gas yang sangat tidak stabil disebabkan karena tidak memiliki katup gas (Pertiwiningrum, 2015).

2. *Floating drum plant*

Jenis *floating drum plant* ini terdiri dari tangki pencernaan dan penampung biogas yang dapat bergerak. Mekanisme tipe digester ini adalah penampung biogas yang dapat bergerak ke atas saat produksi gas bertambah dan turun lagi ketika produksi gas mulai berkurang (Pertiwiningrum, 2015).

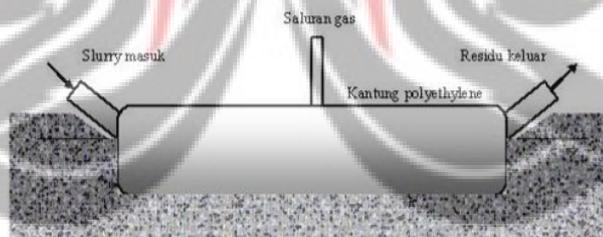


Gambar 2.3 Jenis digester *floating drum plant* (Pertiwiningrum, 2015)

Mekanisme digester ini adalah penampung biogas yang dapat bergerak ke atas saat produksi gas bertambah dan turun lagi ketika produksi gas mulai berkurang (Pertiwiningrum, 2015).

3. *Balloon plant*

Jenis konstruksi sangat sederhana dan terbuat dari plastik, dengan pipa saluran keluar kotoran sapi dan pipa keluarnya lumpur sisa (*slurry*), sedangkan pipa saluran gas di bagian atas (Wulandari dan Labiba, 2017).



Gambar 2.4 Jenis digester *balloon plant* (Wulandari dan Labiba, 2017)

Jenis ini juga memiliki kelebihan yaitu, biaya pembuatan lebih murah, mudah dibersihkan, mudah dipindahkan, sedangkan kelemahan jenis ini dari segi waktu penggunaan yang relatif singkat, dan mudah rusak (Wulandari dan Labiba, 2017).

4. *Plug Flow*

Jenis ini hampir sama dengan *balloon plant*, tetapi pipa ini terbuat dari *polivinil klorida* (PVC) yang memiliki wadah di ujung pipa untuk memasukkan dan mengeluarkan kotoran. Kelebihan dari jenis ini adalah lebih praktis, lebih

mudah dibangun dan lebih murah untuk diproduksi, tetapi kekurangannya adalah biasanya digunakan dalam skala kecil karena ukuran pipa terbatas dan biasanya tidak terlalu besar (Wulandari dan Labiba, 2017).

2.8 Tipe Digester

Tipe digester dibedakan menjadi dua yaitu tipe *batch* dan tipe kontinu. Pada tipe *batch*, diisi sekali selama pengoperasian digester, dan ketika jumlah gas yang dihasilkan berkurang, maka bahan baku dapat diganti dengan yang baru. Tipe *batch* digunakan jika bahan baku sudah tersedia. Sedangkan tipe kontinu dirancang untuk jenis digester mengalir, dan ketersediaan bahan baku harus selalu tersedia (Pertiwiningrum, 2015).

Berdasarkan tata letaknya, digester dapat dibedakan menjadi:

1. Digester diletakkan di atas tanah

Digester jenis ini biasanya dibuat dari drum bekas minyak tanah dan sebagainya. Kerugian dari digester ini adalah kapasitas volume yang dibutuhkan relatif kecil, sehingga biogas yang dihasilkan hanya dapat digunakan untuk kebutuhan rumah tangga. Kelemahan lainnya adalah ketahanan material yang buruk terhadap korosi. Untuk digester biogas berukuran besar, digester biogas jenis ini juga membutuhkan lahan yang luas.

2. Digester diletakkan sebagian di bawah permukaan tanah

Tipe digester yang digunakan biasanya terbuat dari campuran semen, pasir, kerikil, kapur, dan berbentuk seperti sumur kemudian ditutup dengan pelat baja atau struktur semen. Ukuran tangki penyimpanan dapat disesuaikan secara proporsional untuk memenuhi kebutuhan yang berbeda. Kelemahan dari sistem ini adalah ketika ditempatkan di tempat bersuhu rendah, suhu rendah yang diterima lembaran baja menyebar ke bahan baku biogas, dan diketahui bakteri mencapai suhu maksimum dalam rentang suhu tertentu, jadi aksi bakteri menjadi lambat. Kondisi kerja yang baik.

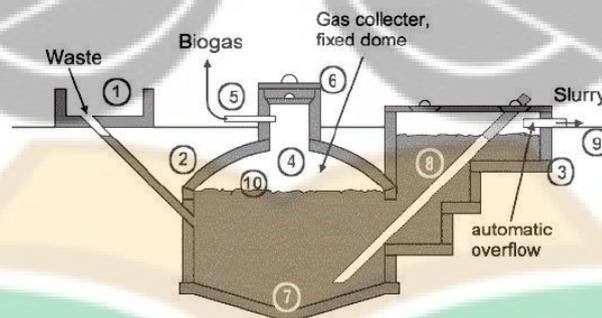
3. Digester diletakkan di bawah permukaan tanah

Model ini paling populer di Indonesia. Semua digester biogas dipasang di bawah permukaan tanah dan memiliki struktur permanen. Selain itu, dapat menghemat ruang lahan, dan digester yang diletakkan di bawah permukaan tanah dapat menjaga suhu tetap stabil dan mendukung pertumbuhan bakteri penghasil metana. Kekurangan dari digester yang diletakkan di dalam permukaan tanah apabila terjadi kebocoran gas sangat sulit untuk diperbaiki.

(Prahtama, 2014)

2.9 Komponen Utama Digester Biogas

Pada umumnya komponen utama digester biogas ada enam yaitu, tangki *inlet*, ruang *digestion* (ruang fermentasi) pada ruangan ini juga dapat ditambahkan tempat penyimpanan gas, dan tangki *outlet*. Campuran limbah dan air (dicampur ke dalam ruang *digestion*) mengalir melalui saluran *inlet* pipa menuju digester. Campuran tersebut menghasilkan gas melalui proses fermentasi *anaerob* di reaktor dan gas yang telah dihasilkan kemudian disimpan dalam penampung gas (bagian atas kubah). *Slurry* mengalir keluar dari digester menuju pipa *outlet* dan mengalir ke lubang *slurry* melalui *overflow*. Kemudian gas dialirkan ke dapur melalui saluran pipa (Wulandari dan Labiba, 2017).



Gambar 2.5 Komponen utama digester biogas (Pertiwiningrum, 2015)

Keterangan gambar:

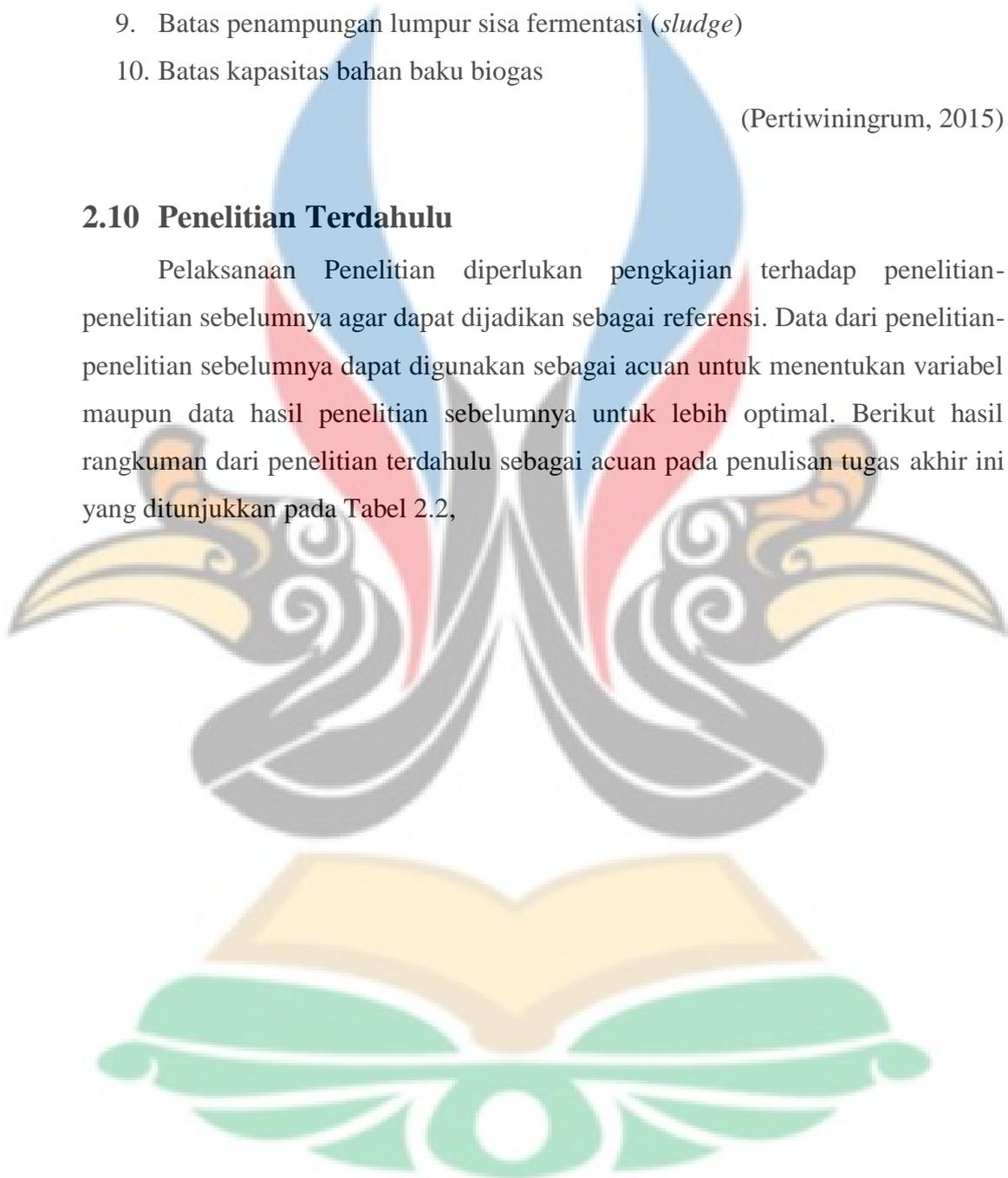
1. *Inlet*
2. Digester
3. Lubang pembuangan lumpur sisa (*sludge*)
4. Bak penampung gas (*gas holder*)

5. Pipa biogas
6. Penutup digester dengan penahan gas
7. Lumpur aktif biogas
8. Pipa keluar *slurry*
9. Batas penampungan lumpur sisa fermentasi (*sludge*)
10. Batas kapasitas bahan baku biogas

(Pertiwiningrum, 2015)

2.10 Penelitian Terdahulu

Pelaksanaan Penelitian diperlukan pengkajian terhadap penelitian-penelitian sebelumnya agar dapat dijadikan sebagai referensi. Data dari penelitian-penelitian sebelumnya dapat digunakan sebagai acuan untuk menentukan variabel maupun data hasil penelitian sebelumnya untuk lebih optimal. Berikut hasil rangkuman dari penelitian terdahulu sebagai acuan pada penulisan tugas akhir ini yang ditunjukkan pada Tabel 2.2,



Tabel 2.2 Penelitian Terdahulu

No	Nama dan Tahun Publikasi	Hasil
1	Megawati, 2015	<p>Metode : Dalam produksi biogas pada penelitian ini menggunakan eceng gondok dan kotoran sapi dengan menggunakan digester tipe <i>batch</i> kapasitas volume 4 liter, dimana 75% dari kapasitas volume digester merupakan bahan isian, dan 25% digunakan untuk penyimpanan biogas.</p> <p>Hasil : Dari hasil pengujian yang diperoleh menunjukkan bahwa massa biogas yang dihasilkan menggunakan variabel campuran EM4 sebesar 1% adalah 1,1 gram dan massa biogas dengan variabel EM4 sebesar 0% adalah 1,55 gram.</p>
2	Karlina, 2017	<p>Metode : Pengujian biogas dengan menggunakan kotoran sapi dan limbah eceng gondok menggunakan reaktor berpengaduk pada kapasitas volume 19 liter, dimana 50% dari kapasitas volume adalah bahan campuran.</p> <p>Hasil : Dari hasil penelitian diperoleh nilai pH yaitu, 6 sampai 7,2, temperatur yaitu, 103,1 cmH₂O sampai dengan 105 cmH₂O, kemudian lama nyala api ±20 detik.</p>

No	Nama dan Tahun Publikasi	Hasil
3	Fitrah dkk, 2018	<p>Metode : Pada penelitian ini menggunakan metode eksperimen. Variasi campuran yang dipakai dalam produksi biogas sebagai berikut, K1 campuran air 1,5 liter + limbah tahu 1,5 kg + kotoran sapi 1 kg, K2 campuran air 1,375 liter + limbah tahu 1,375 kg + kotoran sapi 1,25 kg, K3 campuran air 1,25 liter + limbah tahu 1,25 kg + kotoran sapi 1,5 kg, k4 campuran air 1,125 liter + limbah tahu 1,125 kg + kotoran sapi 1,75 kg, k5 campuran air 1 liter + limbah tahu 1 kg + kotoran sapi 2 kg menggunakan digester tipe <i>batch</i>.</p> <p>Hasil : Dengan hasil penelitian yang terbaik diperoleh dari variasi K1 dengan waktu pembentukan gas pada hari 3, jumlah gas yang dihasilkan 52,15 mm³, nilai pH 6,28, suhu 30,97 dan nilai tekanan 100,32 Pa.</p>
4	Dwivannie dkk, 2019	<p>Metode : Pembuatan biogas pada penelitian ini menggunakan bahan baku limbah cair ampas tahu dengan digester tipe <i>batch</i> kapasitas volume 30 L, dimana 75% dari kapasitas volume merupakan bahan isian sebanyak 22,5 L dan 7,5 L digunakan untuk biogas.</p> <p>Hasil : Dari hasil penelitian menggunakan limbah cair ampas tahu di dapat temperatur pada masing-masing digester yang mengalami fluktuasi sebesar 28°C sampai dengan 29,7°C.</p>