

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Definisi Biogas

Biogas adalah campuran dari beberapa gas dan dihasilkan melalui fermentasi anaerobik bahan organik atau aktivitas mikroba anaerobik untuk menghasilkan gas. Ini juga merupakan teknologi yang menggunakan limbah untuk menghasilkan energi terbarukan, seperti limbah pertanian, limbah peternakan, dan kotoran manusia yang mengandung bahan organik. Metana (CH_4) dan karbon dioksida (CO_2) adalah gas utama.

Didasarkan pada konsentrasi metana, biogas memiliki nilai kalor yang lebih tinggi, sedangkan konsentrasi metana yang lebih rendah menghasilkan nilai kalor yang lebih rendah. (Yudha Heldy Cahyono & Naniek Ratni JAR, 2023) Biogas yang dihasilkan dari proses anaerobik, yaitu proses penguraian bahan organik oleh mikroorganisme dalam kondisi tanpa oksigen. Proses pembentukan biogas dapat terjadi pada berbagai jenis bahan organik, termasuk limbah pertanian, limbah hewan, dan sampah rumah tangga.

A.1. Karakteristik Biogas

Biogas adalah sumber energi terbarukan yang dihasilkan dari penguraian bahan organik seperti limbah pertanian dan kotoran hewan. Karakteristik utama biogas meliputi kandungan metana yang tinggi, yang dapat mencapai 75%, serta sifatnya yang mudah terbakar dan ramah lingkungan (Sinaga et al., 2022). Biogas adalah kumpulan dari beberapa gas yang dihasilkan oleh bahan-bahan organik melalui proses fermentasi anaerobik.

Biogas memiliki kandungan utama yaitu metana dan karbon dioksida tetapi juga mengandung unsur gas lain. Gas alam merupakan gas yang terdiri dari beberapa unsur gas yang memiliki komposisi kimia yang berbeda. Komposisi biogas yang dihasilkan oleh proses anaerobik

meliputi metana (CH_4), karbon dioksida (CO_2), beberapa gas inert, dan senyawa sulfur. Metana merupakan gas yang berasal dari gas alam yang dapat dibakar. Komposisi biogas dapat dilihat pada table dibawah ini:

Tabel 2.1 Komposisi Senyawa Biogas

Komponen	Konsentrasi
Metana (CH_4)	55-75
karbon dioksida (CO_2)	25-45
Nitrogen (N_2)	0-0,3
Hidrogen (H_2)	1-5
Hidrogen Sulfida (H_2S)	0-3
Oksigen (O_2)	0.1-0,5

Menurut (Harun & Ilham, 2023), jenis bahan baku yang digunakan sangat memengaruhi komposisi biogas yang dihasilkan. Namun, gas metana (CH_4) dan karbondioksida (CO_2), yang merupakan komponen utama biogas, mengandung beberapa hidrogen sulfida (H_2S). Banyak faktor yang mempengaruhi produksi biogas. Kondisi lingkungan yang ideal untuk pertumbuhan bakteri penguraian adalah komponen yang membantu mempercepat proses fermentasi.

A.2. Produksi Biogas Melalui Berbagai Tahapan

Fermentasi anaerobic dibagi menjadi empat tahap yaitu Membentuk konsorsium bakteri terdiri dari berbagai kelompok bakteri yang bekerja sama pada setiap tahap (Iriani et al., 2017). Bakteri yang menghasilkan metana dan yang tidak menghasilkan metana terdiri dari konsorsium bakteri ini. Bakteri yang tidak dapat menghasilkan metana terdiri dari bakteri penghidrolisis, bakteri fermentasi, dan bakteri asetogen.

serta rangkaian proses pembentukan biogas meliputi hidrolisis, asidogenesis, asetogenesis dan metanogenesis.

Berikut adalah tahap-tahap pembentukan biogas dalam anaerobic digestion :

1. Tahap Hidrolisis

Fermentasi anaerobik dimulai dengan hidrolisis. Artinya, menghasilkan senyawa yang lebih sederhana daripada yang kompleks. Polimer seperti karbohidrat, lemak, dan protein diubah menjadi glukosa, gliserol, dan asam amino selama proses hidrolisis (Iriani et al., 2017). Mikroorganisme yang menghidrolisis, seperti *Bacillus subtilis*, *Bacillus licheniformis*, dan *Lactobacillus plantarum*, dapat menghasilkan hidrolase untuk mengubah biopolimer menjadi bahan lebih sederhana. *Selulomonas* sp, *Cytophaga* sp dan *Cellvibrio* sp.

Senyawa organik kompleks seperti polimer dipecah oleh mikroba hidrolitik menjadi monomer, yang merupakan senyawa yang tidak larut dengan berat molekul lebih ringan, selama tahap hidrolisis limbah tanaman. Lemak diubah menjadi gliserol dan asam lemak rantai panjang, polisakarida diubah menjadi polisakarida (monosakarida dan disakarida), dan asam nukleat diubah menjadi purin dan pirimidin. Enzim eksogen yang disekresikan diperlukan untuk memediasi proses hidrolisis dan fermentasi senyawa organik, termasuk *Clostridium*.

2. Tahap asidifikasi (Pengasaman)

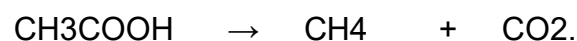
Bakteri seperti *Cytophila* yang menghasilkan asam difermentasi hidrolisis. Asam organik, alkohol, hidrogen, dan amonia terbentuk dari asam amino, asam lemak, dan glukosa. Selain itu, Romli (2010) menyatakan bahwa perombakan bahan organik yang dihasilkan dari hidrolisis terjadi selama tahap pengasaman.

Asam format, asam asetat, asam propionat, asam butirat, asam laktat, asam suksinat, etanol, dan senyawa mineral adalah beberapa

contoh bahan organik yang difermentasi menjadi produk akhir. seperti yang dilakukan oleh karbohidrat, hidrogen dan oksigen. Monomer dari limbah tanaman yang dihidrolisis diubah menjadi senyawa organik sederhana, seperti asam lemak volatil, alkohol, asam laktat, dan senyawa logam, seperti karbon dioksida, hidrogen, amonia, dan hidrogen sulfida gas. Dilakukan oleh berbagai kelompok bakteri, Sebagian besar anaerob dan beberapa anaerobfakultatif, yang mencapai tahap ini. Contoh bakteri acidophilic, yang berarti mereka membentuk asam, adalah Clostridium (Said, 2006).

3. Tahap Metanogenesis

Proses akhir ini termaksud dimana mikroorganisme metanogen menghasilkan metana dari asam asetat dan hidrogen. Metana dan karbon dioksida (CO₂) diproduksi selama proses produksi limbah tanaman. Metana dibuat ketika bakteri atau asetat dapat mengurangi karbon dioksida. generasi metana yang diinduksi hidrogen dan beberapa generasi metanasetil detrital. Bakteri seperti Methanobacterium, Methanobrevibacter, Methanococcus dan Methanothermus adalah contoh Acetoclastic metanogen yang mengubah asam asetat menjadi :



Asam asetat Gas Metan Karbondioksida.

Contoh bakteri ini adalah genus Methanobactrium, Methanobrevibacter Methanococcus dan methanothermus Hidrogenotropik metanogen mensintesis hidrogen dan karbondioksida menjadi :



Hidrogen Karbondioksida Gas Metan Air

Untuk mempercepat proses pembentukan biogas di dalam digester yang memanfaatkan bakteri untuk memecah polimer (seperti karbohidrat, lemak, dan protein), diperlukan media tambahan. EM4

adalah media cair yang berisi mikroorganisme yang memiliki kemampuan untuk memecah polimer (Sundari, 2012).

Dalam suatu proses pembentukan biogas di dalam digester yang memanfaatkan bakteri sebagai sarana untuk memecah senyawa polimer (dalam hal ini adalah karbohidrat, lemak, dan protein) diperlukan media tambahan untuk membantu mempercepat proses, dan salah satu media yang dapat digunakan untuk membantu mempercepat proses tersebut adalah EM4 (Effective Microorganisme-4) (Sundari, 2012).

EM4 merupakan media berupa cairan yang berisi mikroorganisme yang dapat memecah senyawa polimer (dalam hal ini adalah karbohidrat, lemak, dan protein) menjadi senyawa monomernya. Penelitian akan pengaruh EM4 terhadap proses fermentasi yang pada akhirnya akan berpengaruh terhadap massa, nilai kalor, dan kecepatan pembentukan biogas perlu dilakukan, mengingat semakin cepat pembentukan biogas, akan semakin banyak sumber energi yang dihasilkan, sehingga produksi biogas akan semakin tinggi. Hal tersebut akan sangat menguntungkan bagi masyarakat karena semakin tinggi produksi biogas, maka kebutuhan bahan bakar minyak sebagai sumber energi dapat diminimalisir.

A.3 Faktor-Faktor Mempengaruhi Laju Pembentukan Biogas

Tahapan pada proses pembentukan biogas memiliki beberapa parameter bahan dan faktor yang harus diperhatikan dengan baik agar pembentukan biogas optimal, antara lain.

1. Kondisi Anaerob

Biogas dihasilkan dari kondisi kedap udara oleh mikroorganisme anaerob. Oleh sebab itu instalasi/reaktor pengolah biogas harus kedap udara. Selain itu udara (oksigen) yang memasuki biodigester menyebabkan penurunan produksi metana, karena bakteri berkembang pada kondisi yang tidak sepenuhnya anaerob (Mayasari dkk, 2010).

2. Temperatur (Suhu)

Suhu temperatur yang baik untuk perkembangbiakan bakteri metanogen adalah antar 20-30 °C. Temperatur lingkungan di Indonesia antara 20-30 °C sehingga tidak membutuhkan rekayasa, seperti dinegara beriklim dingin (Wahyuni, 2011). Berdasarkan temperatur yang biasa pada pengoperasian reaktor, maka bakteri yang terdapat didalam reaktor dapat dibedakan atas 3 golongan yaitu thermophilic (40-50°C), mesophilic (20-40°C) dan psicrophilic(4-20°C). Untuk negara tropis seperti indonesia, digunakan digester tanpa pemanasan untuk kondisi temperatur 20-30°C (Ihsan dkk, 2018)

3. Substrat Bahan Organik (COD)

Bahan baku yang dapat dijadikan substrat dalam pembuatan biogas adalah serpihan dapur, sisa makanan, rumput, dan potongan makanan (Haryanto, 2014) Jenis bahan organik yang dijadikan bahan baku merupakan faktor yang sangat penting. Hal ini berpengaruh pada lamanya waktu dekomposisi bahan sehingga menghasilkan gas metana yang dihasilkan. Limbah yang diolah menggunakan digester anaerobik bisa fraksi organik (biodigradable), fraksi yang dapat dibalar dan traksi inert.

4. Derajat Keasaman (pH)

Tingginya derajat kemasaman terkait dengan kinerja dan mikroorganisme dalam membantu proses fermentasi. Selain itu bakteri asidogen dan metanogen memerlukan lingkungan dengan derajat Keasaman optimum yang sedikit berbeda untuk berkembangbiak. pH yang rendah dapat menghambat pertumbuhan bakteri asidogenesis, sedangkan pH di bawah 6,4 dapat meracuni bakteri metanogenesis. Rentang pH yang sesuai bagi perkembangbiakan bakteri metanogenesis adalah 6.8-8 Derajat keasaman harus selalu dijaga dalam wilayah perkembangbiakan optimum bagi bakteri agar produksi biogas stabil. Untuk nilai pH stabil produksi metan bekisar 7,2-8,2

5. Rasio C/N

Pemilihan bahan biogas dapat ditentukan dan perbandingan kadar C (karbon) dan N (nitrogen) dalam bahan tersebut. Perbandingan antara unsur Karbon dengan unsur Nitrogen yang secara umum dikenal dengan Rasio C/N terlalu tinggi atau terlalu rendah akan mempengaruhi terbentuknya biogas, karena itu merupakan proses biologis yang memerlukan persyaratan hidup tertentu. Untuk proses penguraian anaerob rentang optimum rasio C/N antara 25-30.

Jika rasio C/N terlalu tinggi maka nitrogen akan dikonsumsi dengan cepat oleh bakteri-bakteri metanogen untuk memenuhi kebutuhan protein dan tidak akan lagi bereaksi dengan sisa karbonnya, hasilnya produksi gas akan rendah. Di lain sisi, jika rasio C/N sangat rendah, nitrogen akan dibebaskan dan terkumpul dalam bentuk NH_4OH (Eswanto, 2018).

Bahan yang memiliki kadar C/N yang tinggi seperti bahan hijauan sebelumnya lebih baik dicacah atau dipotong terlebih dahulu agar bakteri metanogenik lebih mudah melakukan dekomposisi dan tidak lagi menimbulkan bau busuk terlebih dahulu (Wahyuni, 2013).

Tabel 2.2 Rasio C/N Beberapa Limbah Kotoran/Fase

No	Jenis Kotoran	Rasio C/N
1	Manusia	6-10
2	Ayam	18-25
3	Kambing/domba	30-25
4	Kuda	25
5	Sapi / kerbau	25-30
6	Babi	25

Sumber : Yusnani (1996)

a. Waktu

Menurut (Erickson Sarjono Siboro et al., 2013) menerangkan bahwa Proses fermentasi dan pencernaan limbah ternak di dalam tangki pencernaan dapat berlangsung selama 60 hingga 90 hari. Namun, Sahidu (1983) menyatakan bahwa proses ini hanya berlangsung 60 hari dengan pembentukan gas bio pada hari kelima dengan suhu pencernaan 28°C.

Produksi biogas terjadi sekitar sepuluh hari. Setelah sepuluh hari, fermentasi menghasilkan 0,1–0,2 m³/kg berat bahan kering. Jika waktu fermentasi ditingkatkan menjadi sepuluh hingga tiga puluh hari, produksi biogas meningkat sebesar lima puluh persen. Pada hari ketiga puluh fermentasi, jumlah biogas yang diproduksi mencapai puncaknya. selain itu, jumlah biogas menurun setelah 30 hari

b. Pengadukan

Proses pengadukan ini sangat menguntungkan Karena tanpa terjadinya pengadukan (menggoyangkan) dengan padatan akan mengendap di dasar tangki, menyebabkan gelembung gelembung di permukaan tangki yang sulit untuk gas keluar. Oleh karena itu, proses pengadukan ini sangat bermanfaat.

Penggunaan limbah tanaman sebagai bahan baku menimbulkan masalah yang lebih serius daripada penggunaan kotoran ternak. Selama proses dekomposisi, ini diaduk untuk mencegah adanya zat tersuspensi pada permukaan cairan dan membantu proses pencampuran metanogen dengan substrat. Selain itu, pengadukan memastikan bahwa suhu kaleng masak tetap sama. Pengaduk juga meningkatkan hubungan mikroorganisme-substrat sehingga bakteri mendapatkan nutrisi yang lebih baik.

A.4. Manfaat Biogas

Biogas memiliki berbagai manfaat, antara lain:

1. **Sumber Energi Terbarukan** : Biogas dapat digunakan sebagai salah satu bahan bakar untuk memasak, pemanas, dan pembangkit listrik.
2. **Pengelolaan Limbah** : Proses produksi biogas membantu mengurangi volume limbah organik dan dapat mengurangi pencemaran lingkungan.
3. **Pupuk Organik** : Digestat, sisa dari proses fermentasi, dapat digunakan sebagai pupuk organik yang kaya nutrisi.

A.5 Kotoran Sapi

Kotoran sapi adalah limbah hasil pencernaan sapi dan hewan dari *subfamili Bovinae* lainnya (Kerbau, Yak, Bison). Sementara perkembangan atau pertumbuhan industri peternakan menimbulkan masalah bagi lingkungan, karena menumpuknya limbah peternakan. Polutan yang disebabkan oleh dekomposisi kotoran ternak yaitu BOD dan COD (*Biological Chemical Oxygen Demand*). Bakteri *pathogen*, polusi air, (terkontaminasinya air bawah tanah, air permukaan), debu dan polusi bau. Jika dilihat dari pengolahan limbah, proses anaerob juga memberikan keuntungan yaitu menurunkan nilai BOD dan COD, total solid, *volatile solid*, *nitrogen nitrat* dan *nitrogen organik*.

Bakteri *coliform* dan patogen lainnya, telur insect, parasit, bau juga dihilangkan. Pada feses sapi mengandung *hermisellulosa* sebesar 18,6%, *sellulosa* 25,2%, *lignin* 20,2%, *nitrogen* 1,67%, *fosfat* 1,11% dan *kalium* sebesar 0,56%, sedangkan feses kuda mengandung *hemisellulosa* sebesar 23,5%, *sellulosa* 27,5%, *lignin* 14,2%, *nitrogen* 2,29%, *fosfat* 1,25% dan *kalium* sebesar 1,38%. Produksi gas metan sangat tergantung oleh rasio C/N dari substrat, feses sapi mempunyai C/N ratio sebesar 16,6-25%. sedangkan feses kuda mempunyai C/N ratio sebesar 25% (Afrian et al, 2017)

Menurut Hartono (2009), rentang rasio C/N antara 25-30 merupakan rentang optimum untuk proses penguraian anaerob. Jika rasio

C/N terlalu tinggi, maka nitrogen akan dikonsumsi sangat cepat oleh bakteri-bakteri metanogen untuk memenuhi kebutuhan protein dan tidak akan lagi bereaksi dengan sisa karbonnya. Sebagai hasilnya produksi gas akan rendah. Di lain pihak, jika rasio C/N sangat rendah, nitrogen akan dibebaskan dan terkumpul dalam bentuk NH_4OH .

Berdasarkan tinjauan di atas, kotoran sapi dan kuda menjadi suatu masalah dalam pencemaran lingkungan di peternakan, sedangkan serasah daun Jati lama-kelamaan dapat menimbulkan kebakaran hutan, dibutuhkan pengolahan secara biologis. Dengan demikian, potensi kandungan bahan organik dalam kotoran temak dapat dimanfaatkan dalam pembuatan biogas.

A.6 Sampah Organik

Sampah yang biasanya dapat membusuk seperti sisa makanan, daun-daunan, sayur-sayuran dan buah-buahan disebut sampah organik (Rahmat, 2023). Banyak dari sampah organik ini tidak dapat didaur ulang dan digunakan lagi, tetapi mereka terdekomposisi dengan cepat dan dapat digunakan dalam bentuk lain seperti kompos.

Sampah organik pada dasarnya adalah sisa-sisa makhluk hidup, seperti sisa-sisa tumbuhan, hewan, dan manusia. Kertas dan karton termasuk dalam kategori sampah organik ketika diklasifikasikan berdasarkan asal. Namun, barang-barang yang dapat didaur ulang seperti kaleng, kaca, dan logam termasuk dalam kategori sampah anorganik. Sampah organik memiliki banyak jenis dan beragam. Namun, sampah organik ini, yang lebih dikenal sebagai "sampah rumah tangga", terdiri dari sisa makanan, seperti cangkang buah dan sayuran yang tidak terpakai, serta daun-daun yang berguguran di taman dan halaman rumah.

Sebagian besar sampah yang dihasilkan setiap hari berasal dari pasar. Hal ini sangat logis karena setiap pedagang sayur-sayuran, baik yang menjual sayuran langsung atau mengkonsumsinya langsung, menghasilkan sampah, baik anorganik maupun organik. Sampah

anorganik berasal dari pedagang sayuran, seperti beberapa pedagang sayuran lain.

Manusia melakukan berbagai aktivitas untuk menjaga kelangsungan hidupnya, seperti makan, minum, mencuci, dan bekerja. Setiap aktivitas ini menghasilkan sisa-sisa tertentu, yang kita kenal sebagai sampah. Sampah adalah hasil dari aktivitas manusia dan alam yang belum memiliki nilai ekonomis, sehingga perlu dikelola dengan baik agar tidak mencemari lingkungan sekitar. Jika dibiarkan, sampah dapat mengganggu kebersihan lingkungan secara keseluruhan.

Ada beberapa pembagian umum sampah organik adalah sebagai berikut :

1. Sampah Padat (*Anorganik*)

Sampah anorganik terdiri dari bahan-bahan yang tidak berasal dari makhluk hidup, seperti logam, plastik, kaca, karet, dan kaleng. Salah satu karakteristik utama dari sampah anorganik adalah sifatnya yang tahan lama dan sulit untuk membusuk. Sampah jenis ini tidak mudah terurai oleh mikroorganisme tanah, dan jika dibuang sembarangan, dapat menimbulkan pencemaran tanah.

2. Sampah Basah (*Organik*)

Sampah organik, di sisi lain, terbuat dari bahan-bahan yang berasal dari makhluk hidup dan bersifat mudah membusuk. Contoh sampah organik meliputi sisa sayuran, buah-buahan yang sudah rusak, sisa nasi, serta dedaunan. Sampah organik dapat dengan mudah diuraikan oleh mikroorganisme tanah, namun jika tidak dikelola dengan baik, dapat menyebabkan bau yang tidak sedap. Pengelolaan yang tepat terhadap kedua jenis sampah ini sangat penting untuk menjaga kebersihan dan kesehatan lingkungan kita.

Sampah organik dapat dibagi menjadi beberapa kategori berdasarkan sifat dan asalnya. Berikut adalah pembagian umum sampah organik :

a. Sampah Organik Basah

Sampah organik basah adalah jenis sampah yang mengandung banyak air dan biasanya berasal dari sisa-sisa makanan. Contoh dari sampah organik basah meliputi :

- Sisa makanan (sayuran, buah-buahan, nasi, daging, dan lainnya)
- Kulit buah dan sayuran
- Sisa minuman (seperti jus atau susu)

b. Sampah Organik Kering

Sampah organik kering adalah jenis sampah yang lebih kering yang biasanya berasal dari sisa-sisa tanaman atau bahan organik yang tidak memiliki banyak air. Contohnya adalah

- Daun kering
- ranting, dan cabang pohon.
- Serbuk gergaji
- sisa tanaman kebun, seperti batang dan akar.

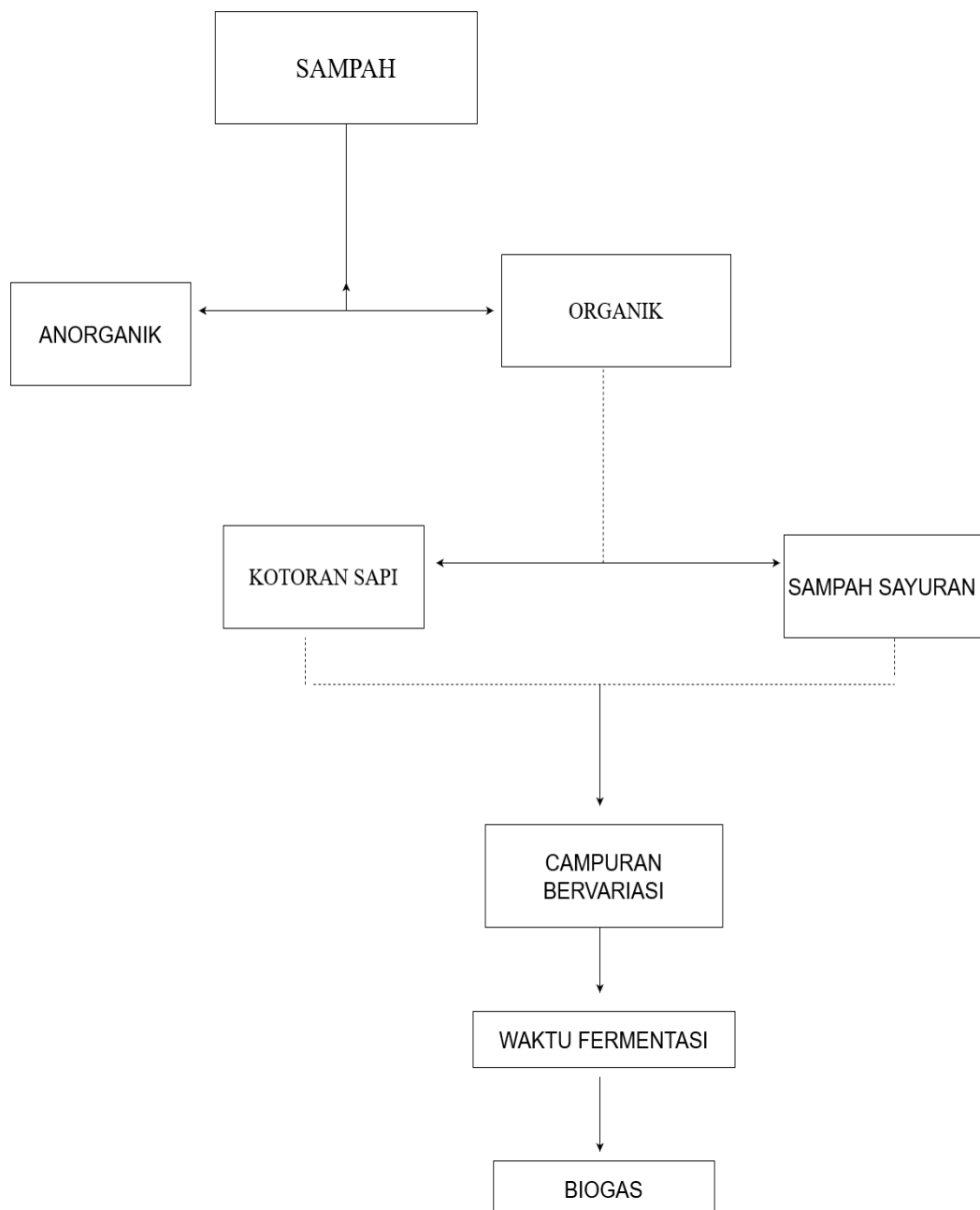
c. Sampah Organik dari Hewan

Sampah organik dari hewan juga termasuk dalam kategori sampah organik. Contoh sampah organik dari hewan adalah:

- Kotoran hewan (misalnya sapi, kambing, ayam).
- Sisa-sisa produk hewani (misalnya kulit atau tulang).

B. Kerangka Teori

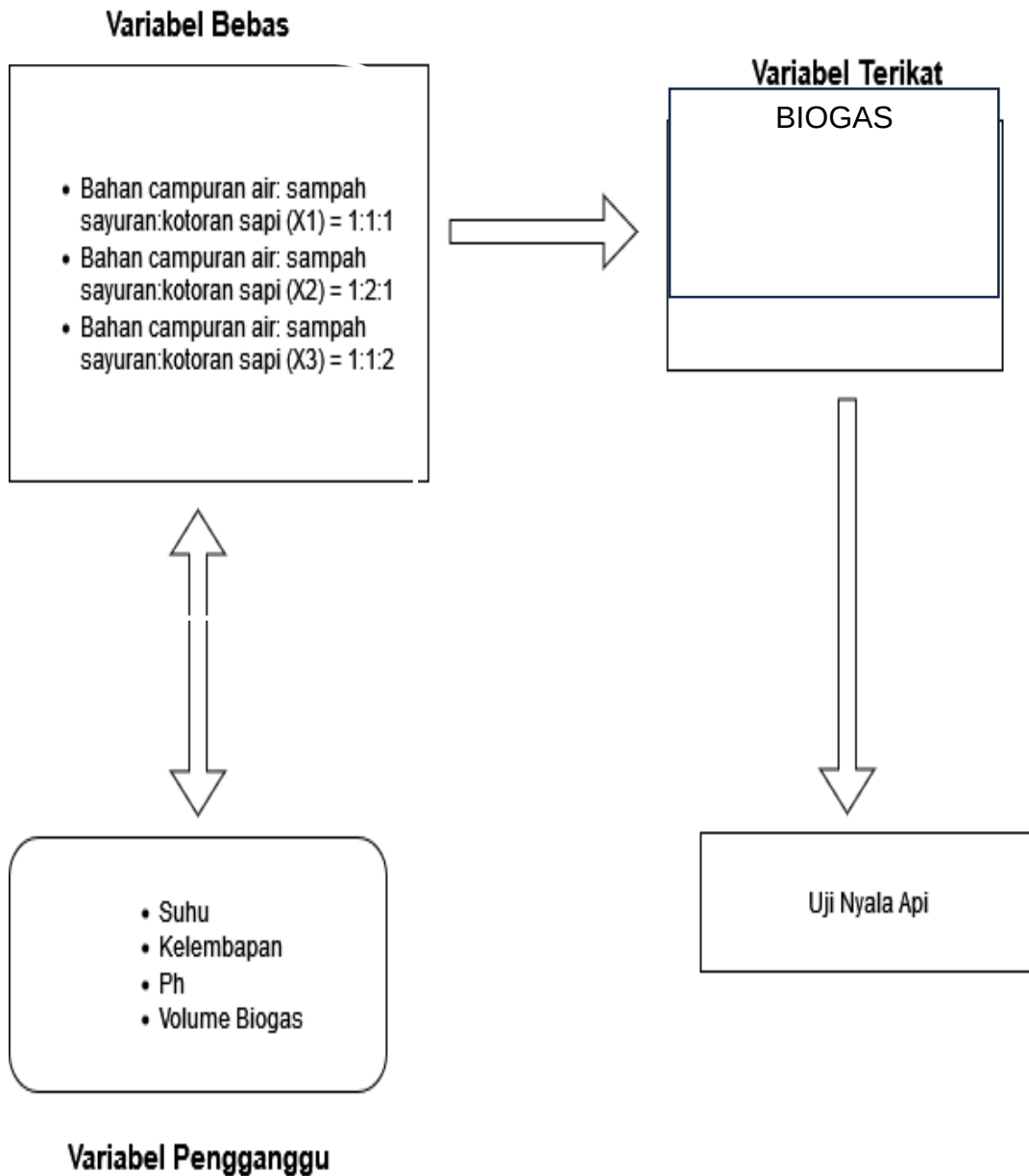
Berdasarkan tinjauan Pustaka, dapat disimpulkan bahwa kerangka teori dapat disusun sebagai berikut.



Gambar 2.1 Kerangka Teori Penelitian (Iriani et al, 2017)

C. Kerangka Konsep

Berdasarkan teori dan tinjauan pustaka, maka kerangka konsep pada penelitian ini dapat disusun sebagai berikut :



Gambar 2.2 Kerangka Konsep Penelitian

D. Defenisi Operasional

Tabel 2.3 Defenisi Operasional

No	Variabel	Defenisi Operasional	Alat Ukur	Hasil Ukur	Skala
1.	Sampah sayuran	Limbah yang berasal dari sisa sampah sayuran yang terbuang di pasar	Timbangan	Kg	Rasio
2.	Kotoran sapi	Limbah berasal dari peternak sapi	Timbangan	Kg	Rasio
3.	Waktu fermentasi	Waktu yang dibutuhkan dalam proses menghasilkan biogas	Instrumen	Hari	Rasio
4.	Uji nyala api	Melihat apakah gas yang dihasilkan dapat menyalakan api	Stofwach	Detik	Rasio
5.	Suhu	Mengukur suhu di dalam biodigester setiap hari selama fermentasi	Termometer	C0	Interval
6.	pH	Derajat keasaman yang digunakan sebagai pencampuran aktivator	pH meter	pH	interval
7.	Volume biogas	Banyaknya biogas yang dihasilkan pada setiap variasi campuran per hari dalam satuan cm	meteran	Cm3	Rasio

E. Hipotesis

Hipotesis nol (H_0) adalah tidak terdapat perbedaan yang signifikan pada volume produksi biogas yang dihasilkan dari variasi campuran kotoran sapi dan sampah sayuran dengan perbandingan 1:1:1 (X_1), 1:2:1 (X_2) dan 1:1:2 (X_3).

Hipotesis alternatif (H_1) adalah terdapat perbedaan yang signifikan pada volume produksi biogas yang dihasilkan dari variasi campuran kotoran sapi dan sampah sayuran dengan perbandingan 1:1:1 (X_1), 1:2:1 (X_2) dan 1:1:2 (X_3).