

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan penduduk di Indonesia yang semakin hari semakin padat memicu berbagai permasalahan sosial yang terjadi di tengah-tengah masyarakat. Tidak hanya permasalahan sosial, permasalahan lainnya yaitu dalam bidang sumber energi untuk kelangsungan hidup. Pemanfaatan energi yang tidak dapat diperbaharui secara berlebihan dapat menimbulkan adanya masalah krisis energi. Salah satu masalah yang terjadi akibat krisis energi yaitu kelangkaan bahan bakar minyak seperti bensin, solar dan gas LPG. Kelangkaan tersebut terjadi karena tingkat kebutuhan BBM yang sangat tinggi dan selalu meningkat setiap tahunnya, sementara itu minyak bumi sebagai bahan baku pembuatan BBM sangatlah terbatas dan membutuhkan waktu berjuta-juta tahun untuk proses pembentukannya (Wahyuni, 2011).

Banyaknya penduduk umumnya akan diimbangi oleh tingginya permintaan akan kebutuhan energi. Di sisi lain, ketersediaan bahan baku pembuat energi saat ini yaitu bahan baku fosil, semakin lama akan semakin berkurang. Bahan baku fosil merupakan sumber daya yang tidak dapat diperbaharui. Dengan demikian diperlukan adanya solusi untuk mengatasi permasalahan tersebut yaitu dengan menciptakan sumber energi alternatif yang dapat dan mudah diperbaharui. Sumber energi tersebut umumnya dikenal dengan istilah biogas.

Biogas adalah gas yang mudah terbakar (*flammable*) yang dihasilkan dari

proses fermentasi bahan-bahan organik oleh bakteri anaerob (bakteri yang hidup dalam kondisi kedap udara). Bahan-bahan organik tersebut dapat berupa limbah pertanian, limbah sayuran, limbah buah bahkan kotoran ternak seperti sapi, kambing dan ayam. Biogas dapat dihasilkan dari pengolahan limbah rumah tangga dan buangan dari sisa kotoran ternak, dengan demikian biogas memiliki peluang yang besar dalam pengembangannya karena bahannya dapat diperoleh dari sekitar tempat tinggal masyarakat (Wahyono dan Sudarno, 2012). Biogas yang dihasilkan oleh aktifitas anaerobik sangat populer digunakan untuk mengolah limbah biodegradable karena bahan bakar dapat dihasilkan sambil menghancurkan bakteri patogen dan sekaligus mengurangi volume limbah buangan. Gas metana dalam biogas, bila terbakar akan relatif lebih bersih daripada batu bara, dan menghasilkan energi yang lebih besar dengan emisi karbon dioksida yang lebih sedikit. Pemanfaatan biogas memegang peranan penting dalam manajemen limbah karena gas metana merupakan gas rumah kaca yang lebih berbahaya dalam pemanasan global bila dibandingkan dengan karbon dioksida. Oleh karena itu pendirian pabrik biogas ini perlu didirikan dengan pertimbangan sebagai berikut :

1. Untuk memenuhi kebutuhan energi di dalam negeri terutama di Daerah Istimewa Yogyakarta
2. Diharapkan dapat membuka lapangan kerja dan meningkatkan taraf hidup masyarakat

3. Dengan didirikannya pabrik biogas dari kotoran ayam dan limbah buah ini akan menciptakan hubungan berkesinambungan satu sama lain antara peternak ayam, pengolah limbah masyarakat dan petani.
4. Selain itu juga dapat terciptanya *zero waste* yang akan menguntungkan untuk Negara Indonesia.

Pemanfaatan sampah organik dan kotoran ternak sebagai bahan penghasil biogas secara tidak langsung merupakan salah satu pemecahan masalah sanitasi dan kesehatan lingkungan, mencegah terjadinya efek rumah kaca karena gas metan yang dihasilkan dari proses penguraian kotoran ternak secara natural merupakan salah satu gas rumah kaca, dan menghindari penebangan hutan yang merupakan dampak dari penggunaan kayu sebagai bahan bakar alternatif.

1.2 Penentuan Kapasitas Rancangan Pabrik

Pabrik Biogas akan dibangun dengan kapasitas bahan baku 89.371 ton/tahun untuk pembangunan pabrik di tahun 2024. Penentuan kapasitas ini ditinjau dari perkiraan jumlah limbah yang dihasilkan selama satu tahun.

Semakin tingginya populasi penduduk di Indonesia diimbangi dengan banyaknya limbah atau sampah yang dihasilkan salah satunya dari limbah peternakan. Apabila usaha peternakan semakin berkembang maka limbah yang dihasilkan juga akan semakin banyak. Limbah peternakan yang saat ini tidak banyak diperhatikan yaitu limbah peternakan ayam. Limbah kotoran ayam umumnya hanya digunakan sebagai pupuk secara langsung oleh peternak, pemanfaatan lain yang bisa dilakukan adalah dengan memprosesnya menjadi

sumber energi dalam bentuk biogas. Dalam pemeliharaan ayam petelur (unggas) akan menghasilkan limbah yang mempunyai nilai nutrisi yang cukup tinggi. Kotoran ayam terdiri dari sisa pakan dan serat selulosa yang tidak tercerna. Kotoran ayam mengandung protein, karbohidrat, lemak dan senyawa organik lainnya.

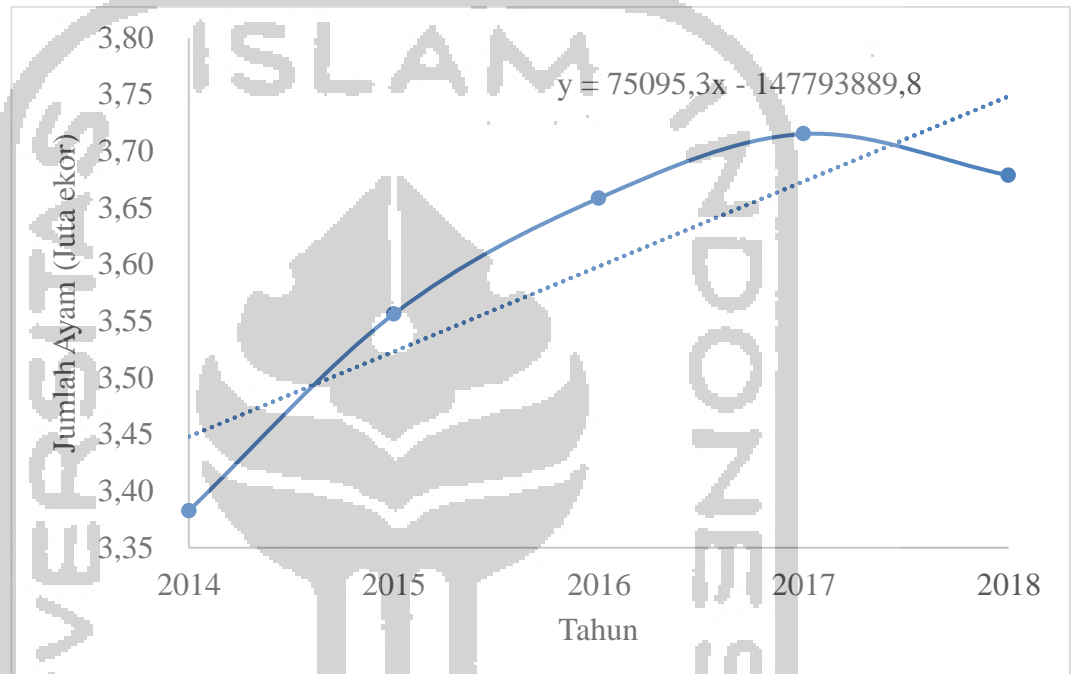
Kabupaten Kulon Progo merupakan salah satu kabupaten di D. I. Yogyakarta yang memiliki jumlah peternakan ayam paling banyak dengan rata-rata setiap tahunnya terdapat 3,5 juta ayam yang ditenak mulai dari ayam ras pedaging, ayam buras serta ayam ras petelur. Dari data Badan Pusat Statistik Kulon Progo, untuk 5 tahun terakhir tercatat jumlah ternak ayam (ekor) di Kabupaten Kulon Progo dapat dilihat pada Tabel 1.1.

Tabel 1.1 Data Jumlah Ayam di Kabupaten Kulon Progo

Tahun	Ayam Ras Pedaging (ekor)	Ayam Buras (ekor)	Ayam Ras Petelur (ekor)	Total Ayam (ekor)
2014	1.728.226	771.638	882.797	3.382.661
2015	1.831.606	775.484	949.152	3.556.242
2016	1.860.037	776.957	1.021.442	3.658.436
2017	1.879.537	805.676	1.029.942	3.715.155
2018	1.844.785	795.671	795.671	3.678.681

(Badan Pusat Statistik Kabupaten Kulon Progo)

Pada Tabel 1.1. menunjukkan data jumlah ayam di Kabupaten Kulon Progo dari tahun 2014-2018. Dari data di atas dapat dibuat grafil Linear antara data tahun sebagai sumbu x dan data jumlah ayam sebagai sumbu y, grafik dapat dilihat pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Perkembangan Jumlah Ayam di Kulon Progo

Perkiraan pertumbuhan ayam di Kulon Progo pada tahun yang akan datang dihitung dengan menggunakan persamaan $y = 75095,3x - 147793889,8$ dimana x sebagai tahun dan y sebagai jumlah perkembangan ayam per ekor. Dengan persamaan di atas diperkirakan untuk tahun 2024 jumlah pertumbuhan ayam di Kabupaten Kulon Progo sebesar :

$$y = 75.095,3 x - 147.793.889,8$$

$$y = 75.095,3 (2024) - 147.793.889,8$$

$$y = 4.198.997,4$$

Diestimasi jika jumlah ayam setiap tahunnya akan meningkat,

sehingga pada tahun 2024 jumlah ayam mencapai 4.198.997,4 ekor. Diperkirakan bahwa seekor ayam menghasilkan feses sekitar 0,063 kg/hari (Charles dan Hariono, 1991). Maka dapat diperoleh jumlah feses (kotoran padat ayam) pada tahun 2024 sebesar 87.297 ton/tahun.

Di sisi lain, limbah yang saat ini belum ditangani secara maksimal yaitu limbah dari buah-buahan, terutama yang berada di pasar-pasar buah. Limbah buah-buahan termasuk limbah organik yang banyak mengandung unsur karbon (C) yang dapat digunakan sebagai penyeimbang selama proses fermentasi biogas berangsung. Penambahan ini dilakukan pada bahan biogas yang mengandung kadar Nitrogen (N) yang tinggi misalnya pada kotoran ayam.

D. I. Yogyakarta merupakan wilayah yang termasuk padat penduduk, penduduk asli maupun penduduk pendatang, sehingga hal tersebut akan memengaruhi peningkatan limbah organik. Untuk itu, limbah organik tersebut diolah sebagai bahan baku pembuatan biogas. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Sugiyono (2010) pertumbuhan penggunaan energi yang paling besar adalah LPG (9,8% per tahun) diikuti oleh listrik (9,4% per tahun) dan bensin (8,6 per tahun). Maka dari itu, biogas dari limbah kotoran ayam dan limbah buah ini dapat digunakan sebagai bahan bakar masak alternatif untuk masyarakat sebagai upaya mencegah kelangkaan sumber energi yang berasal dari bahan fosil.

Dikarenakan limbah kotoran ayam berasal dari wilayah kabupaten Kulon Progo maka limbah buah diambil dari salah satu pasar buah terbesar di Yogyakarta yang terletak dekat dengan wilayah Kulon Progo sehingga dapat

meminimalkan biaya transportasi bahan baku. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Ariyanto, *et al* (2017) dilakukan survei mengenai komposisi limbah buah di salah satu pasar buah dapat dilihat pada Tabel 1.2.

Tabel 1.2 Komposisi Limbah Buah di Pasar Buah

No	Limbah	Berat Rata-rata (kg/bulan)
1	Jeruk	3.695.000
2	Mangga	1.410.000
3	Apel	288.000
4	Nanas	114.000
5	Semangka	70.000
6	Melon	45.000
7	Buah yang lain	90.000
Total		5.712.000

(Ariyanto dkk. 2017)

Penelitian tersebut dilakukan pada satu tahun survei. Sehingga total limbah buah yang dihasilkan pada pasar buah sebesar 5.712.000 kg/bulan atau sama dengan 62.832 ton/tahun. Dengan asumsi pada tahun 2024, limbah buah yang dihasilkan pasar buah juga akan sama.

Dengan mengambil 34% dari kapasitas bahan baku kotoran ayam dan 95% dari kapasitas bahan baku limbah buah, maka total kapasitas pabrik yang akan digunakan berdasarkan jumlah bahan baku tahun 2024 yaitu sebesar 89.371 ton/tahun. Pemilihan persentase kapasitas yang diambil ditinjau dari pengaruh

perbandingan C/N (*Carbon/Nitrogen*) dan pengaruh pengangkutan limbah.

Proses produksi biogas merupakan proses penguraian organik bahan organik oleh mikroba yang dilakukan dalam sebuah fermentor (*digester*) yang beroperasi secara kontinyu. Dimana limbah organik buah-buahan dan limbah kotoran ayam akan diurai menjadi gas yang dibantu oleh bakteri biogas. Proses tersebut dilakukan dalam kondisi anaerob dengan waktu tinggal di dalam reaktor selama 35 hari.

1.3 Tinjauan Pustaka

1.3.1 Kotoran Ayam

Biomassa yang mengandung kadar air yang tinggi seperti kotoran hewan dan limbah pengolahan pangan cocok digunakan untuk bahan baku pembuatan biogas. Limbah peternakan merupakan salah satu sumber bahan yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan biogas, sementara perkembangan atau pertumbuhan industri peternakan menimbulkan masalah bagi lingkungan, karena menumpuknya limbah peternakan. salah satu limbah peternakan yang belum diperhatikan yaitu dari peternakan ayam.

Menurut Prasetyo (2009), kotoran ayam dapat diolah menjadi biogas selama rasio CN dan faktor pendukungnya terpenuhi. Unsur N yang banyak terdapat dalam kotoran ayam merupakan makanan bakteri metanogen sehingga potensinya untuk menghasilkan biogas lebih besar. Rasio CN sendiri bisa ditingkatkan dengan penambahan bahan organik yang memiliki rasio CN lebih tinggi seperti batang jagung, jerami, serbuk

gaji dan sebagainya.

1.3.2 Limbah Buah

Limbah adalah bahan buangan tidak terpakai yang berdampak negatif terhadap masyarakat jika tidak dikelola dengan baik. Limbah adalah sisa produksi baik dari alam maupun hasil dari kegiatan manusia. Limbah organik di pasar umumnya terdiri dari sisa-sisa sayur-mayur dan buah-buahan yang tidak terjual dan potongan sayur yang tidak dimanfaatkan untuk konsumsi manusia. Limbah organik pasar merupakan bahan-bahan hasil sampingan dari kegiatan manusia yang berada di pasar dan banyak mengandung bahan organik. Banyaknya pasar-pasar tradisional memungkinkan ketersediaan limbah organik yang kontinyu. Limbah organik pasar, khususnya limbah buah, apabila digunakan sebagai bahan baku pembuatan biogas memiliki beberapa keuntungan yaitu memiliki nilai ekonomis yang dimanfaatkan dan harganya yang lebih terjangkau, serta mudah didapat dan tidak bersaing dengan kebutuhan manusia. Memanfaatkan limbah organik pasar juga dapat mengurangi masalah pencemaran lingkungan akibat sampah yang khususnya terdapat pada pasar tradisional.

1.3.3 Pengertian Biogas

Biogas merupakan sumber *renewal energy* yang mampu menyumbangkan andil dalam usaha memenuhi kebutuhan bahan bakar . Bahan baku sumber energi ini merupakan bahan nonfossil, umumnya

adalah limbah atau kotoran ternak yang produksinya tergantung atas ketersediaan rumput dan rumput akan selalu tersedia, karena dapat tumbuh kembali setiap saat selama dipelihara dengan baik. Sebagai pembanding yaitu gas alam yang tidak diperhitungkan sebagai renewable energy, gas alam berasal dari fosil yang pembentukannya memerlukan waktu jutaan tahun .

Biogas adalah campuran gas yang terdiri dari 40 – 60 % CH_4 , 30-50 % CO_2 , dan mengandung sebagian kecil SO_2 dan NH_3 . Biogas telah digunakan sebagai bahan bakar sejak 100 tahun yang lalu. Karena komponen yang bermanfaat pada biogas adalah metana, di beberapa daerah biogas telah ditingkatkan menjadi biometana dimana mengandung metana lebih dari 97%. Biogas dapat diproduksi dari berbagai limbah tumbuhan, limbah makanan dan limbah perkotaan. Biogas merupakan alternatif sebagai energi terbarukan untuk menggantikan energi fosil. Biogas merupakan energi alternatif yang dapat digunakan untuk bahan bakar pembangkit listrik, bahan bakar kendaraan dan lain lain. Biogas memberikan dampak buruk yang lebih sedikit dibandingkan dengan bahan bakar fosil. Bahan baku biogas juga dari limbah sehingga mengurangi volume limbah yang dibuang ke tanah dan air.

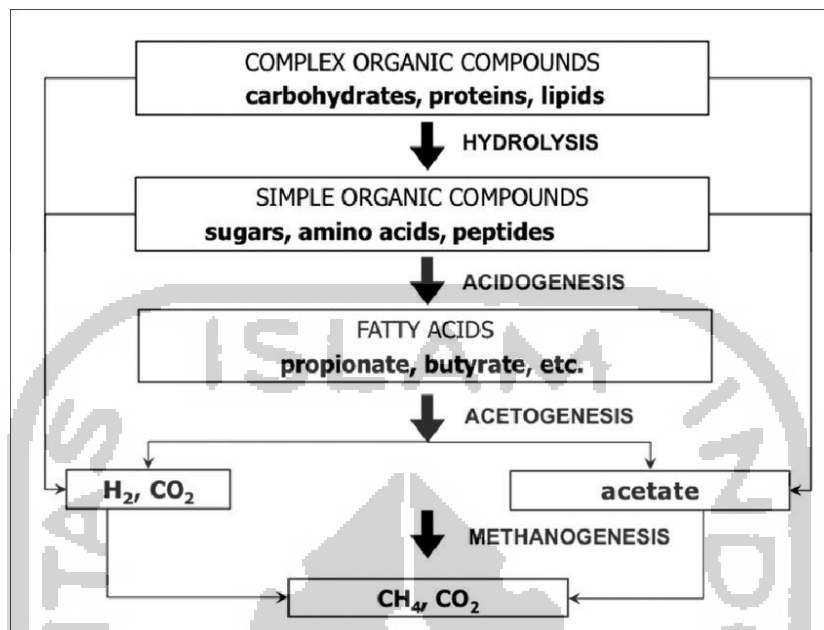
1.3.4 Proses Pembentukan Biogas

Digestasi anaerobik adalah serangkaian proses dimana mikroorganisme memecah bahan *biodegradable* tanpa oksigen. Proses

digestasi anaerobik mengubahnya dari bentuk tersuspensi menjadi terlarut dan biogas. Proses ini menghasilkan campuran metana dan karbondioksida sebagai sumber energi terbarukan. Proses digestasi anaerobik dapat digunakan untuk mengolah berbagai limbah organik dan mengubahnya menjadi bioenergi dalam bentuk biogas.

Digestasi anaerobik telah dilakukan di beberapa jenis reaktor untuk menghasilkan biogas seperti *up-flow anaerobik sludge blanket (UASB) reaktor*, *upflow anaerobik sludge fixed-film (UASFF) reaktor*, *modified anaerobik baffled reaktor (MABR)*, *continuous stirred tank reaktor (CSTR)*, *anaerobik pond*, *anaerobik digester*, *expanded granular sludge bed (EGSB) reaktor*. *continuous stirred tank reaktor (CSTR)* banyak digunakan dalam proses digestasi anaerobik. Kelebihannya karena bentuknya yang sederhana dan mudah dioperasikan. Keberhasilan proses digestasi tergantung pada hasil optimasi kondisi operasi pada masing-masing tahapan proses baik pada proses asidifikasi maupun metanasi sehingga laju produksi biogas maksimal. Digestasi anaerobik dapat dilakukan dengan satu tahap dan dua tahap. Pada proses satu tahap keempat proses yaitu, hidrolisis, asidogenesis, asetogenesis dan metanogenesis dilakukan pada reaktor yang sama.

Proses anaerobik sangat kompleks dengan melalui tahapan proses hidrolisis, asidogenesis, asetogenesis dan metanogenesis. Proses penguraian ini terjadi dengan bantuan bakteri anaerobik. Tahapan ini ditunjukkan pada gambar 1.2.

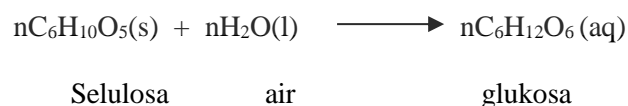


Gambar 1.2 Tahapan Proses Digestasi Anaerobik

1. Hidrolisis

Pada tahap hidrolisis molekul besar seperti protein, polisakarida, dan lemak dikonversi oleh mikroorganisme menjadi molekul yang lebih kecil yang terlarut dalam air seperti peptida, sakarida dan asam lemak. Pada umumnya lemak dihidrolisis lebih cepat daripada protein atau karbohidrat. Proses hidrolisis pada umumnya berjalan lambat dan menjadi laju pembatas pada keseluruhan proses digestasi anaerobik.

Polimer diubah menjadi monomer terlarut melalui mikroorganisme hidrolisis. Proses ini ditunjukkan oleh gambar 1.3.



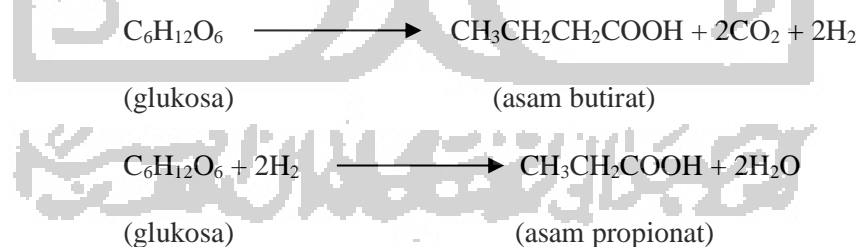
Gambar 1.3 Reaksi Hidrolisis

Kelompok terbesar dari bakteri yang mendegradasi selulosa dalam proses hidrolisis termasuk *Bacterioides succinogenes*, *Clostridium*

lochhadii, *Clostridium cellobioporus*, *Ruminococcus flavefaciens*, *Ruminococcus albus*, *Butyrivibrio fibrosolvens*, *Clostridium thermocellum*, *Clostridium stercorarium* dan *Micromonospora bispora*.

2. Asidogenesis

Proses asidogenesis mengkonversi produk hidrolisis menjadi molekul kecil dengan berat molekul rendah seperti asam lemak volatil, alkohol, aldehid dan gas seperti CO₂, H₂, dan NH₃ dan produk samping lain. Bakteri asidogenesis dapat menurunkan pH bahan organik menjadi sangat rendah sekitar 4, penurunan ini disebabkan karena banyaknya senyawa asam yang dihasilkan dan sangat berbahaya jika terakumulasi terlalu banyak sehingga harus dilanjutkan langsung oleh proses berikutnya. Monomer dari reaksi ini akan menjadi substrat pada reaksi asetonogenesis. Reaksi asidogenesis ditunjukkan pada gambar 1.4.



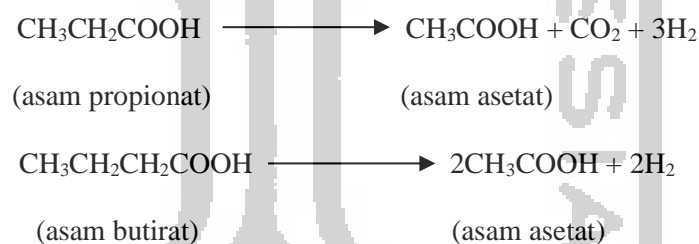
Gambar 1.4 Reaksi Asidogenesis

Tahap ini juga sering disebut dengan fermentasi. Pada tahap ini juga dihasilkan CO₂ dan H₂ dalam jumlah yang banyak. Untuk substrat yang berbentuk gula produksi hidrogen akan bertambah lebih banyak sehingga memungkinkan bisa digunakan sebagai pengganti

energi. Pada proses digestasi anaerobik, tahap asidogenesis pome terlebih dahulu diubah menjadi VFA kemudian diubah menjadi metana dan karbondiosida. VFA merupakan senyawa intermediet yang sangat penting dalam kelangsungan proses pembentukan metana. Konsentrasi VFA yang terlalu banyak dapat menurunkan pH sehingga bisa menghambat proses metanogenesis. VFA menentukan kestabilan proses digestasi anaerobik. VFA yang terlalu banyak pada dasarnya tidak menghambat proses digestasi anaerobik.

3. Asetogenesis

Pada proses ini produk asidogenesis di konversi menjadi asam asetat, hidrogen, dan CO₂ oleh bakteri asetogenesis. Reaksi asetogenesis ditunjukkan pada gambar 1.5.



Gambar 1.5 Reaksi Asetogenesis

4. Metanogenesis

Pada proses metanogenesis, asam asetat dari proses asetogenesis dikonversi menjadi CO₂ dan CH₄. Pada proses ini produksi CH₄ dapat dibagi menjadi dua cara. Pertama asam asetat dikonversi menjadi CO₂ dan CH₄ oleh bakteri acetoclastik. Kedua menggunakan CO₂ sebagai sumber karbon dan hidrogen sebagai agen pereduksi oleh bakteri *hydrogenotropic* atau dihasilkan bentuk lain oleh bakteri jenis lain.

Genus bakteri paling besar dalam proses metanogenesis adalah *Methanobacterium*, *Methanothermobacter* (formerly *Methanobacterium*), *Methanobrevibacter*, *Methanosarcina*, and *Methanosaeta*. Reaksinya ditunjukkan pada gambar 1.6



Gambar 1.6 Reaksi Metanogenesis dari Asam Asetat

Atau CO₂ dapat di hidrolisis menjadi asam karbonik dan metana ditunjukkan pada gambar 1.7.



Gambar 1.7 Reaksi Metanogenesis dari Karbondioksida

Kehadiran gas CO₂ tidak diinginkan. Gas ini harus dihilangkan untuk memaksimalkan kualitas biogas sebagai bahan bakar.

1.3.5 Faktor yang Mempengaruhi Biogas

Aktivitas metabolisme mikroorganisme penghasil metana tergantung pada faktor:

a. Temperatur

Gas metana dapat diproduksi pada tiga range temperatur sesuai dengan bakteri yang hadir. Bakteri *psychrophilic* 0 – 7°C, bakteri *mesophilic* pada temperatur 13 – 40°C sedangkan *thermophilic* pada temperatur 55 – 60°C Temperatur yang optimal untuk digester adalah

temperatur 30 – 45°C, kisaran temperatur ini mengkombinasikan kondisi terbaik untuk pertumbuhan bakteri dan produksi methana di dalam digester dengan lama proses yang pendek. Bakteri *mesophilic* adalah bakteri yang mudah dipertahankan pada kondisi buffer yang baik (*well buffered*) dan dapat tetap aktif pada perubahan temperatur yang kecil, khususnya bila perubahan berjalan perlahan. Perubahan temperatur tidak boleh melebihi batas temperatur yang diijinkan. Untuk bakteri psychrophilic selang perubahan temperatur berkisar antara 2°C /jam, bakteri mesophilic 1°C /jam dan bakteri thermophilic 0.5°C /jam.

b. Derajat Keasaman (pH)

pH adalah besaran yang menyatakan banyaknya ion H⁺. Nilai pH ini dirumuskan sebagai $pH = -\log (H)$. Stabilitas proses fermentasi anaerobik sangat tergantung pada nilai pH didalam reaktor. pH yang rendah menyatakan adanya kelebihan proton (H) didalam reaktor sebab proton akan berubah menjadi H₂ yang merupakan senyawa dalam reaktor, pH yang baik untuk operasi adalah 6,0 – 7,5

Bakteri pada umumnya tumbuh dalam suatu rentang pH tiga unit dan mikroba juga menunjukkan nilai pertumbuhannya maksimum antara pH 6,0 – 7,5. Pada pH lebih rendah dari 5,0 dan lebih tinggi dari 8,5 pertumbuhannya sering terhambat meskipun untuk beberapa mikroba ada pengecualian, seperti sejumlah kecil *Acetobacter* spp. Pengaturan pH sangat penting untuk menjaga pertumbuhan mikroba

yang terbaik dari proses perubahan sistem mikroba anaerobik. Pada awal operasi atau pada saat inokulasi pH dalam bioreaktor dapat turun menjadi 6 atau lebih rendah. Hal ini disebabkan terbentuknya asam-asam lemak organik. Setelah beberapa saat pH akan naik kembali yang disebabkan karena terbentuknya gas metan dari asam-asam lemak tersebut.

c. Rasio Karbon terhadap Nitrogen (C/N)

Rasio C / N mewakili jumlah karbon dan nitrogen dalam bahan baku dan merupakan proses penting parameter untuk padatan tinggi AD. Baik karbon dan nitrogen sangat penting untuk pertumbuhan dan fungsi sel mikroba. Nitrogen hadir dalam bahan baku memfasilitasi sintesis asam amino, protein, dan asam nukleat, sementara karbon bertindak sebagai unit struktural dan juga energi sumber untuk mikroba. Bagian dari nitrogen organik hadir dalam bahan baku diubah menjadi amonia. Amonia diproduksi dalam digester juga membantu menetralkan volatile asam yang diproduksi oleh bakteri fermentasi dan membantu menjaga pH dalam kisaran netral. Secara umum, anaerob mikroba menggunakan karbon 25×10^{30} kali lebih cepat daripada nitrogen. Jadi untuk produksi biogas yang efisien, maka Rasio C / N di feedstock harus dipertahankan pada 20-30: 1 (Haque, 2006). Kelebihan karbon, seperti dalam kasus residu tanaman, menghasilkan akumulasi CO₂ dalam biogas, sedangkan bahan baku yang kaya akan nitrogen seperti urin, limbah rumah jagal, dan kotoran

babi dan unggas dapat menyebabkan akumulasi amonia di dalam digester. Rasio C / N yang tepat dalam digester dapat dicapai dengan co-digesting bahan baku yang kaya akan karbon, seperti residu tanaman, dengan bahan baku kaya nitrogen seperti hewan kotoran ternak, air seni, dan limbah rumah jagal. Tambahan untuk meringankan masalah yang terkait dengan pencernaan dari bahan baku ini saja, ko-pencernaan juga meningkatkan hasil biogas (Capela, *et al*, 2008).

d. Kadar VS dan TS

Pengukuran kadar *Volatile Solid* (VS) dan *Total Solid* (TS) diperlukan untuk mengetahui seberapa banyak substrat yang digunakan dan degradasi sumber karbon. *Total Solid Content* (TS) adalah jumlah materi padatan yang terdapat dalam limbah pada bahan organik selama proses digester terjadi dan ini mengidentifikasi laju penghancuran material padatan limbah organik. *Total solid* (TS) dan *Volatile Solid* (VS) dapat dihitung dengan metode gravimetrik sesuai metode *standard APHA 1998*.

e. *Organic Loading Rate* (OLR)

Organic loading rate (OLR) berarti intensitas umpan dan menjelaskan mengenai seberapa banyak bahan organik diumpankan ke reaktor, biasanya diberikan sebagai jumlah zat padat yang mudah menguap (*Volatile Solid*/VS) atau *Chemical Oxygen Demand* (COD) untuk volume reaktor per hari, misal kgVS / m³ / hari. Ini

memberitahu kapasitas konversi biologis dari proses (Karthikeyan & Visvanathan 2013). Pemuatan tinggi tarif lebih ekonomis, tetapi belum tentu efisien (Deublein & Steinhauser 2011) karena bahan yang terdegradasi secara perlahan mungkin tidak memiliki cukup waktu untuk terdegradasi. OLR tinggi memungkinkan pengolahan limbah dalam jumlah yang lebih besar sehingga prosesnya menjadi lebih produktif masuk akal tetapi tidak harus mencapai hasil biogas maksimum jika bahan meninggalkan reaktor hanya terdegradasi sebagian. Laju pembebanan yang terlalu tinggi juga dapat menurunkan pH karena cepat akumulasi VFA dan akhirnya menghambat produksi biogas (Abassi et al. 2012). Pabrik biogas biasanya bekerja dengan $3 \text{ kgVS/m}^3/\text{hari}$ OLR atau kurang (Deublein & Steinhauser 2011).

f. Pengadukan

Pengadukan bertujuan untuk menghomogenkan bahan baku pembuatan biogas karena pada saat pencampuran dilakukan, bahan-bahan tersebut tidak tercampur dengan baik dan merata. Pengadukan dapat dilakukan sebelum dimasukkan ke dalam bioreaktor atau ketika sudah berada di dalam bioreaktor. Tujuan dari proses pengadukan juga agar seluruh mikroorganisme menerima asupan nutrisi yang menyeluruh dan seimbang dan produk hasil metabolismenya dapat dipisahkan secara maksimal.