

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah Cair Industri Tahu

Pada proses pembuatan tahu terdapat dua jenis limbah, yaitu limbah cair dan limbah padat. Limbah cair merupakan bagian terbesar yang berpotensi mencemari lingkungan. Limbah cair tahu dihasilkan dari proses pencucian, perebusan, pengepresan dan pencetakan tahu serta limbah cair dapat terjadi karena adanya potongan tahu yang hancur karena proses penggumpalan yang tidak sempurna. Hal tersebut yang menyebabkan banyaknya limbah cair yang dihasilkan dari proses pembuatan tahu. Limbah cair tahu mengandung bahan organik yang tinggi serta memiliki BOD dan COD yang cukup tinggi, sehingga apabila dibiarkan akan menimbulkan bau tidak sedap dan bila di buang maka akan mencemari lingkungan. Sedangkan limbah padatnya dihasilkan dari proses penyaringan dan penggumpalan. Limbah padat dapat diolah kembali menjadi produk-produk berupa tempe gembus, kerupuk ampas tahu, pakan ternak, dan tepung (Subekti, 2011).

Limbah padat dari pengolahan tahu berupa kotoran dari proses pembersihan kedelai yang berupa batu, tanah, kulit kedelai, dan benda padat yang terdapat pada kedelai dan juga berupa dari sisa saringan bubur kedelai atau disebut ampas tahu. Limbah padat yang berupa kotoran dihasilkan dari proses awal pencucian sebesar 0.3% dari bahan baku kedelai. Limbah ampas tahu dihasilkan dari proses penyaringan bubur kedelai. Ampas tahu yang dihasilkan sebesar antara 25-35% dari produk yang dihasilkan. Dan pada limbah cair tahu merupakan limbah yang paling banyak dihasilkan dari proses pembuatan tahu yang berpotensi mencemari lingkungan. Sebagian besar limbah cair dihasilkan dari cairan kental yang terpisah dari gumpalan tahu pada proses penggumpalan dan penyaringan yang disebut air didih atau *whey*. *Whey* mengandung protein yang tinggi dan dapat segera terurai. Limbah cair tahu sering dibuang langsung ke lingkungan tanpa pengolahan terlebih dahulu sehingga sering menyebabkan bau tidak sedap dan mencemari lingkungan (Kaswinarni, 2007).

Bau busuk limbah cair tahu disebabkan adanya proses pemecahan protein yang mengandung sulfur dan sulfat yang tinggi oleh mikroba alam. Air keruh pada

limbah disebabkan adanya padatan yang terlarut dan tersuspensi pada limbah cair tahu. Padatan tersuspensi pada limbah berasal dari tahu atau kedelai yang terurai pada limbah cair seperti emulsi keruh (Ratnani, 2011). Limbah cair tahu mengandung bahan organik seperti protein, karbohidrat, dan lemak (Astuti, 2007). Protein yang terkandung dalam limbah cair tahu mencapai 40-60%, dengan 25-50% karbohidrat dan 10% lemak (Madaniyah, 2013). Akibat tingginya protein limbah cair tahu memungkinkan berkembangbiaknya variasi bakteri untuk memanfaatkannya sebagai nutrisi (Madaniyah, 2013). Pada limbah cair juga terdapat 0,63% *volatile solid*, dimana *volatile solid* tinggi menyebabkan meningkatnya produksi biogas (Widarti dkk., 2012).

2.2 Kandungan Kotoran Sapi Dalam Pembentukan Biogas

Pada hewan ternak terdapat banyak manfaat, mulai dari kulit, daging, bulu, dan air susunya pun dikonsumsi. Dalam kajian ilmu biologi yang ditunjang oleh fakta-fakta ilmiah ditemukan bahwa limbah (kotoran) yang dihasilkan dari hewan ternak dapat dimanfaatkan, salah satunya digunakan sebagai bahan dasar pembuatan biogas yang digunakan bahan bakar alternatif (Al-Jazairi, 2008).

Kotoran sapi yang tinggi kandungan haranya maka sangat berpotensi untuk dijadikan biogas (Sucipto, 2009). Kandungan pada kotoran sapi umumnya mengandung Nitrogen (N) dan air. Substrat pada kotoran sapi telah mengandung bakteri untuk menghasilkan gas metana. Selain Nitrogen dan air terdapat kandungan lain yang terdapat pada kotoran sapi diantaranya meliputi 1,8-2,4% nitrogen; 1,0-1,2% fosfor (P_2O_5); 0,6-0,8% potassium (K_2O); dan 50-75% bahan organik. Umumnya kotoran sapi memiliki karakteristik sebagai berikut:

Tabel 2.1 Komposisi Kotoran Sapi

Komponen	Massa (%)
Total padatan	3-6
Total padatan volatile (mudah menguap)	80-90

Komponen	Massa (%)
Total kjehdal nitrogen	2-4
Selulosa	15-20
Lignin	5-10
Hemiselulosa	20-25

Sumber: Harahap, 2007.

Kotoran sapi secara alamiah mengandung gas metana (CH₄) yang merupakan salah satu gas penyebab rumah kaca. Dengan pemanfaatan kotoran sapi sebagai bahan dasar pembuatan biogas akan mengubahnya menjadi CO₂ sehingga akan mengurangi gas metana di udara. Hal ini juga menjadi salah satu upaya untuk mengurangi dampak dari efek rumah kaca serta akan menjadi upaya penyediaan energi (Rahmadian, 2012).

Kotoran sapi tidak hanya mengandung komponen-komponen kimia tetapi juga terdapat bakteri-bakteri yang ada didalamnya. Hal tersebut dibuktikan dengan penelitian Dhadse et al. (2012) yang berhasil memperoleh 8 isolat bakteri dari kotoran sapi. Empat dari 8 isolat adalah bakteri matanogen dan 4 isolat lain adalah bakterin non-matanogen. Bakteri matanogen tersebut meliputi *Methanobrevibacter ruminantium*, *Methanobacterium formicicum*, *Methanosarcina frisia*, dan *Methanothrix soehngeni*. Sedangkan bakteri non-metanogennya meliputi *Clostridium*, *Propionibacterium*, *Bacteroides*, dan *Peptostretococcus*.

Bakteri hidrolitik berperan untuk mendegradasi senyawa-senyawa organik polimer kompleks seperti polisakarida, protein, dan lemak menjadi monomer gula, asam amino, dan peptida. Bakteri asidogenesis mengubah monomer-monomer dari hasil proses hidrolisis menjadi senyawa yang lebih sederhana seperti asam lemak (asam asetat, asam butirat, asam propionat), asam laktat, alkohol, CO₂, H₂, NH₄⁻, HS⁻. Dari hasil proses asidogenesis akan diuraikan oleh bakteri asetogenesis menjadi asam asetat, H₂, dan CO₂. Bakteri metanogen asetotropik lalu menguraikan

asam asetat menjadi CH_4 dan CO_2 sedangkan bakteri metanogen hidrogenotropik mereduksi CO_2 menjadi CH_4 (Hardoyo dkk., 2014).

2.3 Biogas

2.3.1 Pengertian dan Kandungan Biogas

Biogas merupakan gas dari hasil proses penguraian bahan-bahan organik oleh aktivitas mikroorganisme dengan kondisi anaerob (tanpa adanya oksigen). Pada biogas ini tidak terdapat standart SNI, hanya terdapat komposisi biogas sebagian besar komponen utamanya adalah gas metana (CH_4) dan karbondioksida (CO_2) sedangkan komponen lain dengan jumlah kecil adalah uap air, hidrogen sulfida (H_2S), karbonmonoksida (CO), dan nitrogen (N_2) (Hardoyo dkk, 2014). Secara alami, biogas terbentuk pada limbah pembuangan air, tumpukan sampah, dasar danau atau rawa. Hewan mamalia dan manusia menghasilkan biogas dari proses pencernaannya, bakteri pada sistem pencernaan menghasilkan biogas untuk proses pencernaan selulosa pada hewan mamalia (Haryati, 2006).

Komponen utama biogas adalah metana, dimana metana sangat berguna untuk bahan bakar karena memiliki nilai kalor yang cukup tinggi, yaitu sekitar 4800 sampai 6700 Kkal/ m^3 . Dengan nilai kalor yang tinggi itulah biogas dapat digunakan sebagai penerangan, memasak, menggerakkan mesin dan sebagainya. Perbandingan biogas dengan sumber energi lain adalah 1 m^3 biogas setara dengan elpiji 0,46 kg; 0,62 L minyak; 0,52 L minyak solar; 0,80 L minyak bensin; 1,50 m^3 gas kota; dan 3,50 kg kayu bakar (Sunaryo, 2014).

Berat yang dimiliki biogas kira-kira 20% lebih ringan dibandingkan dengan udara. Suhu pembakaran pada biogas berkisar antara 650-750°C. Biogas tidak memiliki bau dan warna, warna api yang dihasilkan dari pembakaran adalah biru cerah seperti halnya gas LPG. Efisiensi pada pembakaran biogas sebesar 60% pada kompor biogas konvensional (Wahyuni, 2013). Ketika gas dibakar, maka api yang terbentuk akan berwarna biru layaknya api dari elpiji dan energi panas yang dihasilkan berkisar sekitar 5200-5900 kcal/ m^3 gas atau sama halnya memanaskan 65-73 liter air dari suhu 20°C sampai mendidih (Pertiwiningrum, 2015).

Komponen biogas dari hasil fermentasi dapat dilihat pada Tabel 2.2 sebagai berikut:

Tabel 2.2 Komposisi Senyawa Penyusun Biogas

Kandungan Gas	Nilai (%)
Metana (CH ₄)	54-70
Karbondioksida (CO ₂)	27-45
Nitrogen (N ₂)	3-5
Hidrogen (H ₂)	1
Karbonmonoksida (CO)	0.1
Oksigen (O ₂)	0.1
Hidrogen Sulfida (H ₂ S)	Sedikit

Sumber: Sunaryo, 2014.

2.3.2 Manfaat Biogas

Setiap potensi alam sejatinya selalu dituntut untuk menggunakan dan mengelolanya dengan bijak tanpa menimbulkan kerusakan lingkungan, salah satu upayanya adalah dengan pengelolaan dan pemanfaatan limbah. Biogas merupakan sumber energi panas dan bahan bakar dengan cara fermentasi zat-zat organik yang sebagian besar berupa limbah, dapat menjadi upaya mengurangi pencemaran lingkungan dan dimanfaatkan menjadi energi alternatif (Hardoyo, 2014).

Manfaat dan kelebihan biogas menurut Pertiwiningrum, 2015 antara lain:

1. Dapat dimanfaatkan untuk keperluan memasak, penggerak generator untuk pembangkit listrik, dan selanjutnya dapat digunakan sebagai otomotif.
2. Sebagai solusi penyediaan energi khususnya di pedesaan, serta mengurangi penebangan pohon-pohon untuk dijadikan kayu bakar.
3. Biogas tidak menghasilkan asap, sehingga tidak mengganggu pernapasan dan ramah lingkungan.

4. Biogas menjadi sumber energi terbarukan karena dihasilkan dari limbah biomassa serta kotoran manusia dan hewan yang ketersediaannya sangat melimpah dan kontinyu. Dan sebagai bahan bakar alternatif sehingga akan menurunkan gas rumah kaca di atmosfer.
5. Penggunaan biogas sebagai bahan bakar akan mengurangi jumlah gas metana di udara.
6. Fermentasi anaerobik biogas menghasilkan produk samping seperti *sludge*. Material ini berupa padat dan cair, dimana dapat dimanfaatkan sebagai pupuk padat dan pupuk cair.

Nilai energi biogas menurut Pertiwinigrum, 2015 jika dibandingkan dengan nilai energi bahan bakar yang lain yaitu kalori dalam satu (1) m³ biogas setara dengan:

1. 6 kwh energi listrik
2. 0,62 liter minyak tanah
3. 0,52 liter minyak solar atau minyak diesel
4. 0,46 kg elpiji
5. 3,50 kg kayu bakar
6. 0,80 liter bensin

2.3.3 Sistem Produksi Biogas

Alat yang digunakan dalam proses pembuatan biogas adalah reaktor atau digester. Reaktor merupakan ruang tertutup yang digunakan sebagai media penyimpan kotoran selama beberapa hari untuk menghasilkan gas yang tersimpan dari hasil fermentasi yang disebut biogas. Sistem produksi biogas dibedakan dari cara pengisian bahan bakunya yaitu pengisian curah dan pengisian kontinyu. Pengisian curah (SPC) adalah cara penggantian bahan yang sudah dicerna dari tangki pencerna setelah produksi biogas terhenti, dan selanjutnya dilanjut pengisian bahan baku yang baru. Sedangkan pengisian kontinyu (SPK) adalah pengisian bahan baku kedalam tangki pencerna secara kontinyu (setiap hari) tiga hingga empat minggu sejak pengisian awal, tanpa harus mengeluarkan bahan yang sudah dimasukkan (Saputri, 2014).

Proses pengisian biogas secara kontinyu (disebut juga *continuous feeding*) dimana sifatnya lebih konsisten dan cepat serta menghasilkan zat buang dalam jumlah kecil setiap harinya. Limbah yang dihasilkanpun mengandung nitrogen sehingga dapat dimanfaatkan sebagai pupuk. Hal yang penting dalam sistem kontinyu adalah tangki harus cukup besar dalam menampung semua bahan yang secara terus-menerus dimasukkan selama proses berlangsung. Proses kontinyu akan ideal jika pada sistem menggunakan dua buah tangki digester, konsumsi limbah berlangsung pada dua tahap dimana metana akan diproduksi pada tahap pertama dan tahap kedua dengan laju pembentukan yang semakin lambat. Sedangkan pada pengisian curah (SPC) disebut dengan *batch feeding*. Umumnya sistem ini didesain untuk limbah padatan seperti sayuran. Desain ini tidak memerlukan pipa alir, dan tangki tunggal merupakan desain yang paling baik digunakan. Pada *batch feeding* tangki dapat dibuka dan buangan proses dapat dikeluarkan yang dapat dimanfaatkan sebagai pupuk. Kemudian bahan baku dimasukkan kembali dan tangki ditutup maka proses fermentasi akan diawali kembali (Haryati, 2006).

2.3.4 Proses Pembentukan Biogas

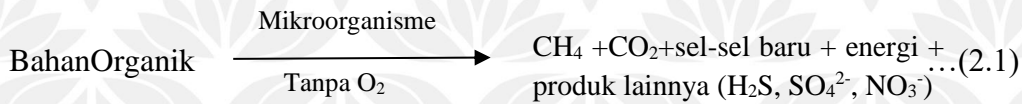
Pada prinsipnya teknologi biogas merupakan teknologi yang memanfaatkan proses fermentasi dari limbah organik secara anaerob (bakteri yang hidup dalam kondisi kedap udara) (Bahrin dkk., 2011). Proses anaerobik merupakan proses mikrobiologi dimana mikroorganisme anaerobik menggunakan unsur karbon I sebagai sumber utama energi dan pembentukan karbon sel, untuk menghasilkan asam lemak volatil, gas metana (CH_4) dan karbondioksida (CO_2). Unsur Nitrogen (N) dibutuhkan mikroorganisme anaerob untuk pembelahan sel (Saputra, 2010).

Keunggulan proses anaerobik menurut Astuti, 2007 dibandingkan proses aerobik adalah sebagai berikut:

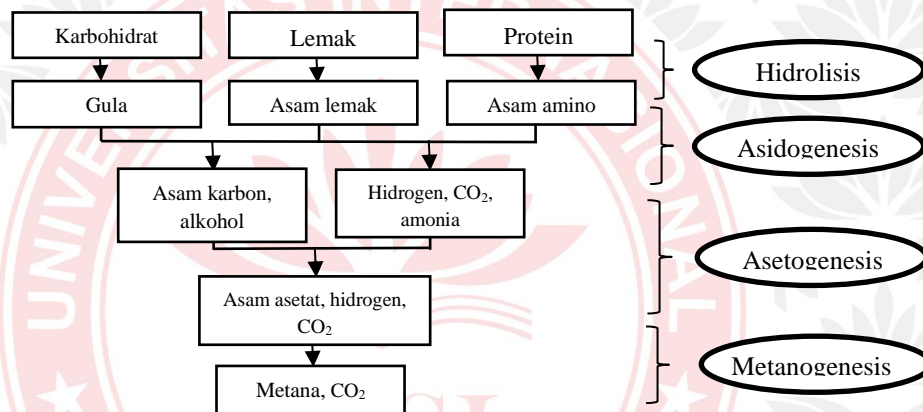
1. Proses anaerobik tidak membutuhkan oksigen, sedangkan penggunaan oksigen dalam proses penguraian limbah akan menambah biaya operasi.
2. Penguraian anaerobik lebih menghasilkan lebih sedikit lumpur (3-20 kali lebih sedikit dari aerobik), energi yang dihasilkan penguraian anaerobik lebih rendah.
3. Penguraian anaerobik menghasilkan gas metana.

4. Energi penguraian limbah kecil.
5. Penguaraian anaerobik cocok digunakan untuk limbah industri dengan konsentrasi polutan organik yang tinggi.

Prinsip digesti anaerob adalah sebagai berikut:



Proses pembuatan biogas terdiri dari 4 tahap yaitu hidrolisis, asidogenesis, asetogenesis, dan metanogenesis. Proses tersebut disajikan dalam gambar sebagai berikut:



Gambar 2.1 Proses Pembentukan Biogas

2.3.5 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Proses Pembentukan Biogas

Faktor-faktor yang mempengaruhi proses produksi biogas meliputi substrat, suhu, pH, muatan tingkat, toksisitas, pengadukan, nutrisi, konsentrasi campuran, konstruksi dan ukuran digester, rasio karbon dengan nitrogen, waktu retensi, alkalinitas, substrat awal, jumlah asam volatil, kebutuhan oksigen kimia (COD), total padatan (Ts), cairan yang mudah menguap dan lain-lain. Dimana secara rinci dijelaskan sebagai berikut:

1. Nilai pH

Secara optimum produksi biogas dapat dicapai bila nilai pH dari campuran masukan di dalam digester berada pada kisaran 6 dan 7. Pada proses fermentasi di tahap awal, asam organik dalam jumlah besar diproduksi oleh bakteri

pembentuk asam, pH pada digester bisa mencapai dibawah 5, pada keadaan ini cenderung menghentikan proses fermentasi. Pada bakteri metanogen sangat peka terhadap pH dan tidak dapat bertahan hidup dengan pH dibawah 6. Pada proses pencernaan berlangsung, konsentrasi NH_4 akan bertambah sehingga akan meningkatkan jumlah nitrogen dan hal itu dapat menaikkan nilai pH hingga 8. Pada saat kondisi metana sudah stabil maka pH berkisar antara 7,2-8,2 (Wahyuni, 2013).

2. Suhu

Suhu optimum untuk bakteri metanogen adalah 35°C . Keadaan bakteri akan tidak aktif pada kondisi ekstrim maupun rendah. Ketika suhu udara turun menjadi 10°C produksi gas menjadi berhenti. Rentan suhu yang bagus untuk produksi gas yaitu pada kisaran mesofilik, antara suhu 25°C dan 30°C . Penggunaan isolasi yang memadai pada digester membantu produksi gas khususnya di daerah dingin. Secara keseluruhan suhu lingkungan dengan suhu substrat tidak jauh berbeda. Suhu lingkungan yang berubah-ubah akan diikuti suhu substrat dengan selisih nilai yang tidak jauh berbeda namun tidak sama perisis. Hal tersebut dapat terjadi karena efek isolatif dari bahan reaktor yang digunakan sebagai biodigester. Dan juga dikarenakan karena adanya aktivitas bakteri yang terdapat pada substrat dimana salah satu hasilnya selain biogas adalah panas (Wahyuni, 2013).

3. Laju Pengumpanan

Laju pengumpanan merupakan jumlah bahan yang dimasukkan kedalam digester per unit kapasitas per hari. Apabila bahan yang dimasukkan berlebihan maka akan terjadi akumulasi asam dan produksi metana akan terganggu. Sebaliknya, jika bahan yang dimasukkan kurang dari kapasitas digester, produksi gas juga semakin rendah (Wahyuni, 2013).

4. Waktu tinggal dalam digester

Waktu tinggal dalam digester merupakan rata-rata periode waktu saat masukan masih berada dalam digester dan proses fermentasi oleh bakteri metanogen. Waktu tinggal dihitung dengan pembagian volume total dari digester oleh volume masukan yang ditambah setiap hari. Waktu tinggal dipengaruhi oleh suhu. Diatas suhu 35°C maka waktu tinggal semakin singkat (Wahyuni, 2013).

5. Toksisitas atau inhibitor

Zat-zat yang bersifat racun atau dapat mengganggu pertumbuhan bakteri di dalam digester dinamakan inhibitor, misalnya adalah ion mineral, logam berat, dan detergen. Jika ion-ion dalam kondisi konsentrasi yang tinggi maka akan bersifat meracuni, namun jika skalanya kecil maka akan bersifat merangsang pertumbuhan bakteri. Contohnya NH_4 pada konsentrasi 50 hingga 200 mg/L dapat mempercepat pertumbuhan mikroba. Tetapi jika konsentrasinya menjadi 1.500 mg/L ke atas maka bersifat racun (Wahyuni, 2013).

6. *Sludge*

Sludge merupakan limbah lumpur dari lubang pengeluaran digester setelah mengalami proses fermentasi oleh bakteri metanogen secara anaerobik. Kondisi ini dapat dikatakan manur dalam keadaan stabil dan bebas patogen serta dimanfaatkan sebagai kesuburan tanah (Wahyuni, 2013).

7. Kandungan bahan kering

Aktivitas mikroba metanogen secara normal membutuhkan sekitar 90% air dan 7-10% bahan kering dari bahan masukan untuk fermentasi. Dengan demikian yang menghasilkan banyak biogas adalah 7-9% bahan kering (Wahyuni, 2013).

8. Kadar air bahan

Dalam proses biologis pembuatan biogas air sangat berperan penting. Pada pembuatan biogas dengan menggunakan bahan kering seperti rumput bekas makanan ternak atau bahan kering lainnya maka sangat diperlukan penambahan air. Berbeda ketika bahan yang digunakan berupa lumpur yang sudah mengandung bahan organik tinggi dan didalamnya sudah terkandung air sehingga tidak perlu penambahan air sebanyak pada bahan kering. Jumlah air yang ditambahkan harus sesuai (Harahap, 2007).

9. *Starter*

Starter digunakan untuk mempercepat proses perombakan bahan organik sampai menjadi biogas. *Starter* adalah mikroorganisme perombak yang dijual komersial atau bisa secara alami dari lumpur aktif organik atau cairan isi rumen. Agar proses fermentasi terjadi dengan cepat maka pada proses awal perlu ditambahkan cairan yang mengandung banyak bakteri metanogen atau disebut

dengan *starter*. *Starter* menurut Harahap, 2007 yang dapat digunakan dikenal dengan tiga macam, yaitu:

a) *Starter* alami

Starter alami merupakan *starter* yang bersumber dari alam yang telah diketahui mengandung bakteri metanogen seperti lumpur aktif, timbunan sampah lama, timbunan kotoran manusia, dan lain-lain.

b) *Starter* semi buatan

Starter semi buatan merupakan *starter* yang bersumber dari tabung pembuat biogas yang diharapkan kandungan bakteri metanogennya dalam stadium aktif.

c) *Starter* buatan

Starter buatan merupakan *starter* yang bersumber dengan sengaja dibuat, baik dengan media alami ataupun buatan, sedangkan bakteri metanogennya dibiakkan secara laboratorium.

10. Pengadukan

Fungsi dari pengadukan dalam reaktor diantaranya adalah untuk menjaga agar tidak terjadi endapan di dasar reaktor, karena hal tersebut akan mengakibatkan terhambatnya gas yang terbentuk di daerah dasar sehingga mempengaruhi jumlah gas yang dihasilkan. Dan dapat meningkatkan kontak antara mikroba dengan substrat dan bakteri mendapatkan nutrisi (Yuwono dan Totok, 2013).

11. Kandungan Oksigen

Sebagian besar bakteri pembentuk asam adalah bersifat anaerobik fakultatif, artinya adanya oksigen tidak berpengaruh secara mutlak dalam pembentukan asam. Sedangkan bakteri metanogen merupakan bakteri obligat anaerobik dan sangat sensitif terhadap perubahan lingkungan. Dengan adanya oksigen maka menyebabkan bakteri metanogen inaktif. Oleh sebab itu fermentasi akan bekerja di tahap awal saat oksigen masih tersedia dalam bioreaktor. Dan ketika oksigen sudah habis maka bakteri metanogen akan bekerja menghasilkan metana (Fusvita, 2015).

2.4 Bakteri Metanogen

Bakteri merupakan mikroba yang hidup di semua tempat. Jenis bakteri sangat banyak ada yang menguntungkan ada pula yang merugikan bahkan ada yang belum teridentifikasi sehingga belum diketahui manfaatnya. Bakteri sering diberi nama berdasarkan produk dominan yang dihasilkannya. Seperti bakteri metanogen, diberi nama metanogen karena menghasilkan gas metana (CH_4) (Kapahang dkk., 2007).

Bakteri metanogen merupakan bakteri yang terdapat pada bahan-bahan organik dan menghasilkan gas metana serta gas-gas lainnya dengan proses keseluruhan rantai secara anaerobik. Setiap organisme-organisme memiliki kondisi tertentu dan peka pada iklim mikro dalam digester. Bakteri metanogen merupakan bakteri obligat anaerobik dan sangat sensitif pada perubahan lingkungan. Bakteri metanogenesis termasuk dalam genus *Archaeobacter* yaitu kelompok bakteri yang memiliki struktur morfologi yang sangat berbeda-beda (heterogen), sifat biokimia yang umum, dan sifat biologi molekuler yang berbeda dengan bakteri lain (Khaerunnisa dan Ika, 2013).

Ciri khas yang dimiliki bakteri metanogen adalah dapat menghasilkan gas metana (CH_4). Bakteri metanogen juga memiliki peran penting dalam perputaran H_2 pada lingkungan yang anaerob. Bakteri metanogen terdapat pada berbagai macam habitat anaerobik termasuk sedimen, sludge dan digester kotoran hewan, buangan kotoran hewan dan manusia dalam jumlah besar. Usus serangga, kayu basah pada pohon, dan rumen. Bakteri metanogen akan bersifat inaktif bila pada kondisi terdapat oksigen, meskipun tidak semua spesies mati secara cepat oleh adanya oksigen. Pada limbah makanan yang diolah secara anaerob terdapat sedikitnya 3 filotipe Archaea metanogen yaitu *Methanobrevibacter filiformis*, *Methanosphaerula palustris*, dan *uncultured Archaea* dari Grup I *crenarchaeote*. Hal ini menunjukkan bahwa bakteri metanogen juga dapat hidup di limbah makanan (Sunarto, 2013).

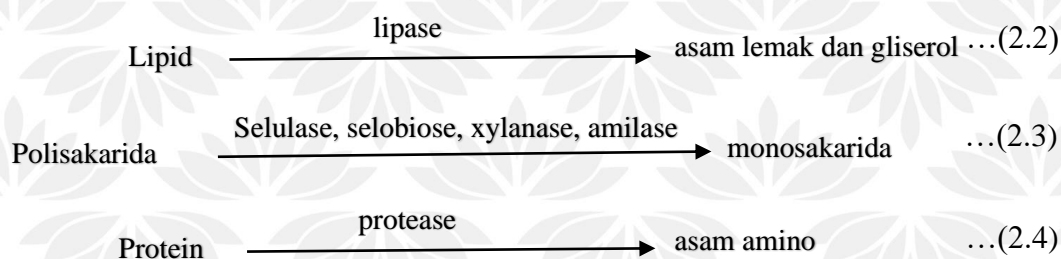
Bakteri tumbuh dengan cara pembelahan biner satu sel yang akan membelah menjadi dua sel. Waktu generasi yaitu waktu yang dibutuhkan oleh sel untuk membelah, bervariasi tergantung dari spesies dan kondisi pertumbuhan. Seperti bakteri anaerob mengkonsumsi karbon sekitar 30 kali lebih cepat dibanding nitrogen. Hubungan jumlah karbon dan nitrogen dinyatakan dengan rasio

karbon/nitrogen (C/N), rasio optimum pada digester anaerobik berkisar 20-30. Jika rasio C/N terlalu tinggi maka nitrogen akan dikonsumsi dengan cepat oleh bakteri metanogen untuk memenuhi kebutuhan pertumbuhannya dan hanya sedikit yang bereaksi dengan karbon, akibatnya gas yang dihasilkan menjadi rendah. Sebaliknya, jika C/N rendah, nitrogen akan bebas dan akan membentuk ammonia (NH₄) yang dapat meningkatkan pH. Ketika pH lebih tinggi dari 8,5 akan menunjukkan pengaruh negatif pada populasi bakteri metanogen sehingga bakteri metanogen tidak dapat bekerja (Haryati, 2006).

2.5 Fermentasi Pada Proses Biogas

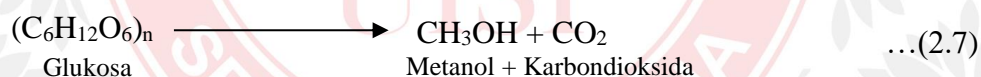
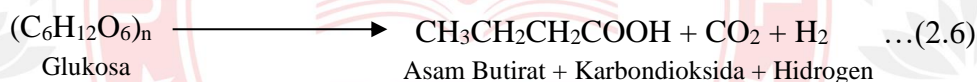
2.5.1 Hidrolisis

Pada tahap hidrolisis terjadi proses degradasi bahan organik yang diawali oleh tahap penguraian secara enzimatik bahan organik dari berat molekul besar (rantai panjang) sebagai sumber energi dan sumber karbon bagi sel. Enzim amilase menghidrolisis sejumlah *a-glycosidic carbohydrates* seperti zat tepung, sukrosa, glikogen, dan amilase. Menurut Price dan Cheremisinoff (1981); Padmono (2007) kerja enzim dalam memutus polisakarida adalah dengan memutus rantai glikosidik menjadi disakarida yang selanjutnya di ubah menjadi monosakarida oleh enzim glikosidase. Sedangkan proses hidrolisis protein dilakukan oleh enzim protease dan peptidase, kedua enzim bersumber dari dinding sel mikroorganisme dan sebagian lainnya bersumber dari reaktor (Padmono, 2007). Contoh enzim hidrolitik adalah *Cellulomonas sp.*, *Cytophaga sp.*, *Peudomonas sp.*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus licheniformis*, dan *Lactobacillus plantarum*. Dimana bakteri-bakteri tersebutlah yang memiliki enzim hydrolase sehingga dapat merubah biopolymer menjadi senyawa yang lebih sederhana. Tahapan proses pemecahan polimer tersebut adalah sebagai berikut (Fusvita, 2015):



2.5.2 Asidogenesis

Dari senyawa-senyawa sederhana yang telah terbentuk pada tahap hidrolisis selanjutnya bahan organik akan dikonversi menjadi asam volatil seperti asam butirat dari karbohidrat dan asam propionat dari asam amino (Padmono 2007). Produk lain yang dihasilkan pada tahap ini selain asam volatile yang digunakan mikroorganisme untuk dijadikan energi, ada juga produk samping berupa karbondioksida (CO_2). Pada pembentukan asam volatile terdapat juga H_2 , CO_2 , *acetyl coenzyme A (acetyl-coA)*. Reaksi yang berjalan pada tahap ini terjadi secara anaerob oleh bakteri yang berasal dari genus *Clostridium*. Adanya bahan organik yang terurai menjadi asam volatil mengakibatkan penurunan pH secara progresif dari 7 hingga 5 hal tersebut dapat berpengaruh terhadap proses dekomposisi oleh bakteri pembentuk metana yang rentan terhadap pH. Berikut merupakan reaksi pada tahap asidogenesis (Verma, 2002; Sjafruddin, 2011):



2.5.3 Asetogenesis

Setelah melalui proses asidogenesis proses selanjutnya adalah asetogenesis. Pada tahap ini hasil yang diperoleh dari tahap sebelumnya akan dikonversi menjadi asetat, hidrogen, dan karbondioksida. Dari 70% COD akan dirubah menjadi asam asetat. Pada proses pembentukan asam asetat umumnya akan menghasilkan produk samping berupa hidrogen atau karbondioksida tergantung dari bagaimana bahan organik teroksidasi. Bakteri asetogenik (bakteri yang memproduksi asetat dan H_2) contohnya *Syntrobacter wolinii* dan *Syntrophomas walfei* yang merubah etanol, asam propionat, dan asam butirat diubah menjadi asam asetat (Said, 2006; Sunarto, 2013). Reaksi pada tahap ini adalah sebagai berikut (Hardoyo, dkk., 2014):



2.5.4 Metanogenesis

Tahap terakhir adalah tahap metanogenesis, pada tahap ini merupakan tahap yang paling sensitif dalam mendekomposisi bahan organik secara anaerobik. Hal tersebut dapat terjadi dikarenakan reproduksi bakteri yang sangat lambat hingga 3 hari dibandingkan dengan bakteri sebelumnya yang hanya 3 jam untuk reproduksi. Bakteri yang berperan pada tahap ini adalah bakteri metanogenesis. Bakteri metanogenesis memanfaatkan hasil dari tahap selanjutnya yang berupa asam asetat, karbon-dioksida, hidrogen, sebagai substrat untuk menghasilkan metana, karbon-dioksida dan zat sisa-sisa lainnya seperti H₂S dan air. Terdapat 2 kelompok bakteri metanogen yang berperan pada tahap ini. Bakteri metanogen asetatotropik bekerja untuk menguraikan asam asetat menjadi metana dan CO₂, sedangkan metanogen hidrogenotropik yang bekerja mereduksi CO₂ menjadi metana. Berikut merupakan reaksi yang terjadi (Hardoyo, dkk., 2014):



2.6 Teknologi EM (*Effective Microorganisms*)

Effective microorganisms (EM) merupakan campuran dari kelompok mikroba yang berperan mengembalikan ketersediaan unsur hara yang ada di lingkungan (Hadisuwito, 2012). Teknologi EM ditemukan pertama kali oleh Prof. Dr. Teruo Higa pada tahun 1980. Dr. Teruo Higa melakukan penelitian terhadap sekelompok mikroorganisme yang dengan efektif dapat bermanfaat dalam memperbaiki kondisi tanah, menekan pertumbuhan mikroba yang menimbulkan penyakit dan

memperbaiki efisiensi penggunaan bahan organik oleh tumbuhan. Kelompok mikroba tersebut disebut dengan EM (Hadisuwito, 2012).

Teknologi EM sudah banyak dikenal oleh masyarakat. Teknologi EM dikembangkan untuk menunjang pembangunan pertanian ramah lingkungan, menekan penggunaan pupuk kimia dan pestisida dengan sistem alami yang dapat meningkatkan produktivitas tanah, mengurangi biaya produksi dan menghasilkan bahan pangan yang bebas bahan kimia sehingga bersih dan sehat untuk di konsumsi. Teknologi EM yang banyak dikenal oleh masyarakat adalah EM-4, yang merupakan suatu kultur campuran yang digunakan sebagai inokulum mikroba yang berfungsi sebagai pengendali biologis (Hadisuwito, 2012). Mikroba utama yang terkandung dalam EM-4 yaitu:

a) Bakteri asam laktat (*Lactobacillus plantarum* dan *Streptococcus lactis*)

Bakteri asam laktat merupakan bakteri gram positif yang tidak membentuk spora dan berfungsi menguraikan bahan organik dengan cara fermentasi membentuk asam laktat dan glukosa. Asam laktat merupakan bahan sterilisasi kuat yang dapat menekan pertumbuhan mikroorganisme berbahaya dan menguraikan bahan organik dengan cepat (Setiawan, 2010).

b) Ragi (*yeast*)

Ragi (*yeast*) berfungsi menguraikan bahan organik dan menekan pertumbuhan bakteri yang bersifat patogen. Ragi juga dapat membentuk zat aktif dan enzim yang berguna untuk pertumbuhan sel. Proses fermentasi ragi dapat menghasilkan senyawa-senyawa yang bermanfaat bagi pertumbuhan tanaman dari asam amino dan gula yang dikeluarkan oleh bakteri fotosintetik dan akar-akar tanaman.

c) *Actinomicetes* (*Streptomyces albus*, *Streptomyces griseus*)

Actinomicetes adalah bakteri gram positif yang bersifat aerob. Bakteri ini memiliki morfologi mirip dengan fungi yaitu memiliki miselium. *Actinomicetes* menjadi kelompok terbesar sebagai sumber daya mikroba yang menghasilkan antibiotik dan juga memproduksi berbagai metabolit bioaktif nonantibiotika, seperti enzim dan inhibitor enzim (Fitria, 2008).

d) Bakteri fotosintesis (*Rhodospirillum rubrum*)

Bakteri fotosintetik merupakan bakteri bebas yang dapat mensintesis senyawa nitrogen, gula dan substansi lainnya. Hasil metabolisme yang diproduksi dapat diserap secara langsung dan tersedia sebagai substrat untuk perkembangan mikroba lain yang menguntungkan (Setiawan, 2010)

e) Jamur fermentasi

Jamur fermentasi (*Aspergillus oryzae* dan *Penicillium sp*) menguraikan bahan organik secara cepat untuk menghasilkan alkohol, ester dan zat-zat anti mikroba. Pertumbuhan jamur ini membantu menghilangkan bau dan mencegah serangga dan ulat-ulat merugikan dengan cara menghilangkan penyediaan makanan (Setiawan, 2010).

2.7 Tinjauan Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian terdahulu yang dapat dijadikan sebagai acuan untuk referensi, seperti yang telah tercantum dalam table 2.3 berikut :

Tabel 2.3 Tinjauan Penelitian Terdahulu

No	Penelitian	Judul	Keterangan
1.	Hanifah Nisrina, Pertiwi Andarani, 2018	Pemanfaatan Limbah Tahu Skala Rumah Tangga Menjadi Biogas Sebagai Upaya Teknologi Bersih di Laboratorium Pusat Teknologi	<ul style="list-style-type: none">• Penelitian ini menggunakan limbah cair tahu dari Desa Puspiptek Tangerang Selatan sebagai bahan baku .• Inokulum yang digunakan adalah larutan kotoran sapi

			<p>dengan perbandingan 1 : 6.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Jenis reaktor yang digunakan pada penelitian ini adalah digester anaerobik <i>batch</i> dengan volume 20 L. • Suhu dan pH limbah cair tahu yang digunakan pada penelitian ini yaitu sebesar 46°C dan 4,03 <p>Penurunan kandungan COD yang terjadi yaitu sebesar 8,1%, total solid sebesar 56,9% dan <i>volatile solid</i> sebesar 66,3%.</p>
2.	Mohamad Rusdi Hidayat, Hidayati, Pramono Putro Utomo, 2012	Produksi Biogas Dari Limbah Cair Tahu dengan Biokatalis <i>Effective</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Inokulum yang digunakan adalah <i>effective microorganism 4</i>

		<p><i>Microorganism 4</i> (EM-4)</p>	<p>dengan konsentrasi 0,25%; 0,50%; 0,75%; dan 1%.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Jenis reactor yang digunakan pada penelitian ini adalah digester anaerobic <i>batch</i> dengan volume 27 L. • Pada penelitian ini penambahan starter <i>effective microorganism 4</i> ini mampu mempercepat pembentukan biogas menjadi rata-rata 5,5 hari. • Pembakaran sempurna terjadi pada konsentrasi 0,75% EM-4 dengan lama nyala api selama
--	--	--------------------------------------	--

			14 menit 56 detik
3.	Angraini, Mumu Sutisna, Yulianti Pratama, 2014	Pengolahan Limbah Cair Tahu secara Anaerob Menggunakan Sistem Batch	<ul style="list-style-type: none"> • Inokulum yang digunakan adalah larutan kotoran sapi dengan perbandingan 1 : 6, dan 1: 10. • Jenis reactor yang digunakan pada penelitian ini adalah digester anaerobik <i>batch</i> • Suhu dan pH limbah cair tahu yang digunakan pada penelitian ini yaitu sebesar 30°C dan 6,85 • Perbandingan 1: 6 adalah keadaan yang paling optimum, karena efisiensi

			<p>penyisihan pencemar COD mencapai 78%, BOD mencapai 73% dan total solid sebesar 50%.</p>
4.	Kardo Rajagukguk, 2020	Pengolahan Limbah Cair Tahu Menjadi Biogas dengan Reaktor portable	<ul style="list-style-type: none"> • Inokulum yang digunakan adalah larutan kotoran sapi dengan perbandingan 1:6. • Jenis reaktor yang digunakan pada penelitian ini adalah <i>fixed dome</i> • Suhu dan pH limbah cair tahu yang digunakan pada penelitian ini yaitu sebesar 31°C dan 6,91 • Tekanan optimum tercapai pada hari ke 21

			dengan besar tekanan 12,2 kPa
5.	Prasetyadi, Laras Andria Wardani, Haryoto Kusnoputranto, 2018	Evaluasi Kinerja Operasi Sistem Anaerobik Tipe <i>Fixed Bed</i> untuk Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu Menjadi Biogas di Kota Probolinggo	<ul style="list-style-type: none"> • Inokulum yang digunakan adalah larutan kotoran sapi dengan perbandingan 1:6. • Jenis reaktor yang digunakan pada penelitian ini adalah <i>anaerobic fixed bed</i> dengan kapasitas 43 m³. • pH optimum limbah cair tahu yang digunakan pada penelitian ini yaitu sebesar 6,5 • Untuk menghasilkan metana dengan kemurnian 65%, reaktor diisi

			dengan volume 35 m ³ .
6.	Ari Adi Chan, Isna Apriani, Rita Hayati, 2016	Produksi Biogas dan Penyisihan COD dari Limbah Cair Tahu	<ul style="list-style-type: none"> • Inokulum yang digunakan adalah larutan kotoran sapi dengan perbandingan 1:1. • Jenis reaktor yang digunakan pada penelitian ini adalah digester anaerobik <i>batch</i> dengan volume 20 L. • Suhu dan pH optimum limbah cair tahu yang digunakan pada penelitian ini yaitu sebesar 32°C dan 6,4 • Efisiensi penyisihan COD

			tertinggi terjadi pada hari ke 21 yaitu sebesar 95%.
--	--	--	--

