

**PENGARUH WAKTU TINGGAL DAN KOMPOSISI BAHAN BAKU
PADA PROSES FERMENTASI TERHADAP PRODUKTIVITAS
BIOGAS LIMBAH CAIR INDUSTRI TAHU
DI DESA SINDANG SARI**

(SKRIPSI)

Oleh

**HOTMAN HUTAGALUNG
(1015021037)**



**FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
UNIVERSITAS LAMPUNG
2017**

ABSTRAK

PENGARUH WAKTU TINGGAL DAN KOMPOSISI BAHAN BAKU PADA PROSES FERMENTASI TERHADAP PRODUKTIVITAS BIOGAS LIMBAH CAIR INDUSTRI TAHU DI DESA SINDANG SARI

Oleh

HOTMAN HUTAGALUNG

Industri tahu menghasilkan limbah tahu berupa padatan dan cairan yang memiliki kandungan zat organik yang tinggi dan dapat mengakibatkan penurunan kualitas air jika langsung dibuang ke badan air sehingga dilakukan penelitian dengan mengolah air limbah secara anaerob untuk menghasilkan zat yang lebih bermanfaat (biogas) serta mengurangi konsentrasi parameter pencemar dalam air limbah cair tahu. Pengolahan limbah cair ini memanfaatkan mikroorganisme yang terdapat di dalam limbah cair tahu, kotoran sapi dan kotoran unggas bebek. Penelitian ini dilakukan selama 28 hari dengan menggunakan 5 variasi rasio perbandingan volume bahan baku yaitu limbah cair tahu 1:0, Limbah cair tahu : kotoran bebek 1:0,25, limbah cair tahu : kotoran bebek 1:1, limbah cair tahu : kotoran sapi 1:0,25, limbah cair tahu : kotoran sapi 1:1 serta dengan 4 variasi waktu tinggal yaitu 7 hari, 14 hari, 21 hari dan 28 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa volume biogas optimum sebesar 10,9 L tercapai pada kondisi perbandingan volume bahan baku limbah cair tahu : kotoran sapi sebesar 1:0,25 dengan waktu tinggal 21 hari. Untuk uji nyala yang dilakukan menghasilkan api biru dan tidak berasap sehingga dapat dikatakan biogas yang dihasilkan mengandung metana. Hal ini juga dibuktikan dengan melakukan uji komposisi biogas menggunakan alat uji Chromatogram dengan komposisi gas pada sampel limbah cair tahu dengan kotoran sapi yaitu 28,84% N₂, 65,67% CH₄, 5, 5% CO₂ dan pada sampel limbah cair tahu dengan kotoran bebek yaitu 28,61% N₂, 62,73% CH₄, 8,65% CO₂.

Kata kunci : limbah cair industri tahu, biogas, COD, BOD, kotoran sapi, kotoran bebek.

ABSTRACT

THE EFFECT OF RAW MATERIAL COMPOSITION AND HOLDING TIME IN PRODUCTIVITY BIOGAS WASTE ALSO FERMENTATION PROCESS USING LIQUID WASTE TOFU INDUSTRY IN SINDANG SARI VILLAGE

By

HOTMAN HUTAGALUNG

The tofu industry producing tofu waste whether solid or liquid forms that have high organic content and leads to a water quality degradation if its directly pour into water banks so this research is done by treating wastewater anaerobic to produce more useful substances (biogas) and reduce the concentration of parameters pollutants in liquid tofu wastewater. This liquid waste treatment utilizes microorganisms contained tofu waste, cow dung and duck muck. This research was conducted for 28 days by using 5 variation ratio of raw material volume that is known as liquid waste 1: 0, liquid waste tofu: duck muck 1: 0,25, liquid waste of tofu: 1: 1 duck muck, liquid waste tofu: cattle 1: 0.25, liquid waste tofu: 1: 1 cow dung and with 4 variations of holding time is 7 days, 14 days, 21 days and 28 days. The results showed that the optimum biogas volume of 10.9 L was achieved in the condition of the ratio of raw material volume of tofu waste: cow dung by 1: 0.25 with a residence time of 21 days. For flame test conducted to produce blue flame and there was no smoke so it can be said that the biogas produced contains methane. It is also proven by conducting biogas composition test using Chromatogram test with gas composition on liquid waste sample with cow dung ie 28.84% N₂, 65.67% CH₄, 5, 5% CO₂ and on sample of liquid waste know with duck muck that is 28,61% N₂, 62,73% CH₄, 8,65% CO₂.

Keywords: liquid waste of tofu industrial, biogas, COD, BOD, cow dung, duck muck.

**PENGARUH WAKTU TINGGAL DAN KOMPOSISI BAHAN BAKU
PADA PROSES FERMENTASI TERHADAP PRODUKTIFITAS
BIOGAS LIMBAH CAIR TAHU
DI DESA SINDANG SARI**

Oleh

**HOTMAN HUTA GALUNG
1015021037**

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik
Universitas Lampung**



**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
2017**

Judul Skripsi

**: PENGARUH WAKTU TINGGAL DAN
KOMPOSISI BAHAN BAKU PADA PROSES
FERMENTASI TERHADAP
PRODUKTIVITAS BIOGAS LIMBAH CAIR
INDUSTRI TAHU DI DESA SINDANG SARI**

Nama Mahasiswa

: Hotman Hutagalung

Nomor Pokok Mahasiswa

: 1015021037

Program Studi

: Teknik Mesin

Fakultas

: Teknik



MENYETUJUI

1. **Komisi Pembimbing**

Dr. Amrul, S.T., M.T.

NIP. 19710331 199903 1 003

Agus Sugiri, S.T., M.Eng.

NIP. 19700804 199803 1 003

2. **Ketua Jurusan Teknik Mesin**

Ahmad Su'udi, S.T., M.T.

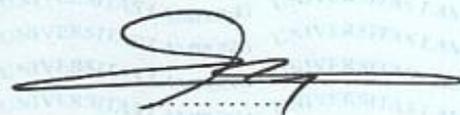
NIP. 19740816 200012 1 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

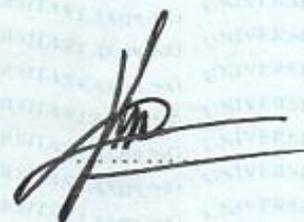
Ketua

: **Dr. Amrul, S.T., M.T**



Anggota

: **Agus Sugiri, S.T., M.Eng.**



Penguji

Bukan Pembimbingan : **Indra Mamad Gandidi, S.T., M.T.**

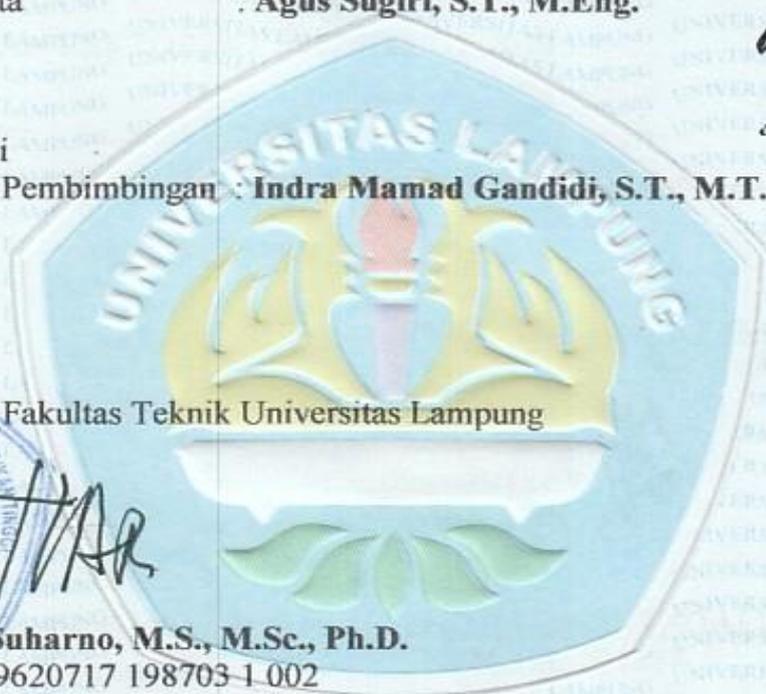


2. Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung

Prof. Suharno, M.S., M.Sc., Ph.D.

NIP 19620717 198703 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **20 Oktober 2017**



PERNYATAAN PENULIS

BAHWA BENAR SKRIPSI INI DIBUAT SENDIRI OLEH PENULIS DAN BUKAN HASIL PLAGIAT SEBAGAIMANA DIATUR DALAM PASAL 27 PERATURAN AKADEMIK UNIVERSITAS LAMPUNG DENGAN SURAT KEPUTUSAN REKTOR NO. 3187/H26/DT/2010

YANG MEMBUAT PERNYATAAN



HOTMAN HUTAGALUNG
NPM.1015021037

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Kabupaten Lampung Selatan Provinsi Lampung pada Tanggal 05 November 1990, sebagai anak ketiga dari lima bersaudara, dengan orang tua yaitu Bapak W.Hutagalung dan ibu N.Br.Sinaga. Jenjang pendidikan pertama yang dijalani penulis adalah Pendidikan Sekolah Dasar (SD) di SD Negeri 2 P. Simpang hingga tamat pada tahun 2003. Pendidikan lanjut pertama penulis di SMP Negeri 2 Kertosari, akhirnya pada tahun 2006 penulis lulus dari SMP. Kemudian pada tahun 2006 penulis melanjutkan pendidikan di SMA Lentera Harapan Jati Agung dan penulis lulus SMA pada tahun 2009. Selama menjalani pendidikan dari SMP hingga SMA, penulis juga pernah mengikuti beberapa organisasi *intern* sekolah seperti OSIS dan PMR. Setelah lulus SMA penulis sempat bekerja selama satu tahun sebagai staff Tata Usaha (TU) di SMP Lentera Harapan Jati Agung

Pada Tahun 2010, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung (Unila) melalui seleksi yang saat itu bernama Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN). Semasa kuliah pada tahun 2013, penulis melakukan kerja praktik di PT. Central Pertiwi Bahari (CPB) dengan subjek yang dikaji adalah analisis beban termal coldstorage pada PT Cental Pertiwi Bahari. Selama menjalani pendidikan di Teknik Mesin penulis mengikuti beberapa kegiatan organisasi. Pada tahun 2011 penulis menjadi anggota bidang rohani nonmuslim Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM). Pada tahun 2012 Penulis menjadi anggota divisi penerbitan selama satu tahun Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) .

SANWACANA

Puji syukur penulis ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Kuasa, karena berkat kasih karunia dan anugerah-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir serta menyelesaikan Skripsi ini dengan baik. Skripsi ini merupakan syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.

Skripsi ini disusun berdasarkan studi pustaka, berdiskusi bersama dosen pembimbing, dan eksperimental yang dilakukan di rumah industri tahu di Desa Sindang Sari, Kecamatan Tanjung Bintang, Lampung Selatan. Dalam skripsi ini menyajikan proses perancangan dan pembuatan digester, proses pembuatan biogas menggunakan limbah cair tahu serta pengujian komposisi terhadap biogas yang dihasilkan. Semua sumber yang dirangkum dan dijadikan acuan, berasal dari Jurnal nasional, buku studi dan juga berdasarkan literatur untuk menunjang dalam proses perancangan. Hasil yang diperoleh dari penelitian berupa data-data hasil pembuatan biogas dan hasil pengujian komposisi biogas yang dihasilkan, yang disajikan secara terstruktur di dalam skripsi ini.

Pada kesempatan ini, penulis ingin sampaikan rasa terima kasihnya kepada :

1. Kedua orangtua saya terkasih Bapak W. Hutagalung dan ibu N. Br. Sinaga yang selalu memberikan kasih sayang, semangat motivasi dan mendoakan atas harapan serta kesuksesan penulis.
2. Kakak dan adik saya Maria Eva, Lamtiar, Leni dan Fransio atas nasehat, dukungan, motivasi, dan doa sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
3. Bapak Ahmad Su'udi,S.T.,M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
4. Bapak Harnowo Supriadi,S.T.,M.T. selaku koordinator Tugas Akhir Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
5. Bapak Dr.Amrul,S.T.,M.T. selaku dosen pembimbing 1 Tugas Akhir ini, terima kasih atas saran-saran, bimbingan, dan juga semua nasehat sehingga terselesaikannya skripsi ini.
6. Bapak Agus Sugiri,S.T.,M.Eng., selaku dosen pembimbing 2 Tugas Akhir ini, terima kasih atas saran-saran, ide gagasan dan juga bimbingan yang telah diberikan kepada penulis.
7. Bapak Indra Mamad Gandidi,S.T.,M.T., selaku dosen pembahas dalam Tugas Akhir ini, terimakasih atas saran dan masukan yang diberikan.
8. Rekan seperjuangan Tugas Akhir Biogas Limbah Cair Tahu Riyan Riyon Saputra terima kasih atas kebersamaan perjuangan dan usaha dalam melaksanakan Tugas Akhir ini.
9. Seluruh rekan-rekan mahasiswa teknik mesin khususnya angkatan 2010, terima kasih atas kebersamaan kalian.

10. Rekan-rekan GBC : Ardhon, Lae Joe, Mecot, Ape, Chimlim, Bondan, Khamdun, Bima. Terimakasih atas dukungan kalian.
11. Zamsta Crew : Chyntya Masta, Artha Novela, Lae Nando, Togu Cs, Yusan Els, Rabiah, Isma, Baby Ai.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, namun Penulis memiliki harapan agar skripsi yang sederhana ini dapat memberi inspirasi dan berguna bagi semua kalangan civitas akademik.

Bandar Lampung, Oktober 2017

Penulis

Hotman Hutagalung

QUOTE

“Karena bagiku hidup adalah Kristus dan mati adalah keuntungan”
~Filipi 1 : 21~

“Think Different.”
~Advertising slogan for Apple Computer~

“Success usually comes to those who are too busy to be looking for it.”
~Henry David Thoreau, 1817-1862~

“Just because my path is different doesn't mean i'm lost”
~Anonim~

PERSEMBAHAN

Dengan Kerendahan Hati dan Ucapan Syukur Kepada Tuhan Yang Maha Kuasa

Kupersembahkan karya Kecilku ini untuk orang-orang yang aku sayangi

Ayah dan Ibu

Atas Segala pengorbanan yang tak terbalaskan, doa, kesabaran, keikhlasan, cinta

dan kasih sayangnya

Kakak dan Adikku

Sumber motivasi, semangat, keceriaan dan kebanggaan dalam hidupku

Sahabat Mesin '10

Yang selalu memberi semangat dan berdiri tegap disampingku saat suka maupun

duka, berbagi nasihat dan keceriaan

DAFTAR ISI

SAMPUL

ABSTRAK

DAFTAR ISI

DAFTAR GAMBAR

DAFTAR TABEL

BAB I PENDAHULUAN	Halaman
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Sistematika Penulisan	3
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Pengertian Biogas	4
2.2 Proses Pembuatan Biogas	5
2.3 Jenis-Jenis Reaktor	11
2.4 Limbah Cair Tahu	14
2.5 Bakteri Psikotropik, Termofilik dan Mesofilik	18
 BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	21
3.2 Alat dan Bahan	21
3.3 Prosedur Percobaan	21
3.4 Diagram Alir Penelitian	24
 BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Data Hasil Pengujian	25

4.2 Pengaruh Waktu Tinggal dan Komposisi Bahan Baku Terhadap Volume Biogas	26
4.3 Hasil Pengujian Biogas	27
BAB V SIMPULAN DAN SARAN	
4.4 Simpulan	30
4.5 Saran	31

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Tahapan dalam Fermentasi Pembentukan Metana.....	7
Gambar 2. Reaktor Kubah Tetap (<i>Fixed-dome</i>)	12
Gambar 3. Reaktor Floating Drum	13
Gambar 4. Reaktor Balon	13
Gambar 5. Hubungan Suhu dan Pertumbuhan pada Kelompok Mikroorganisme dengan Tempertur yang berbeda	20
Gambar 6. Instalasi Reaktor Biogas Skala Galon	13
Gambar 7. Diagram Alir	24
Gambar 8. Grafik Pengaruh Waktu Tinggal dan Komposisi Bahan Baku Terhadap Produktivitas Biogas	26
Gambar 9. Uji Nyala Biogas	28
Gambar 10. Grafik Uji Komposisi Biogas	29

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1. Komposisi Biogas	7
Tabel 2.2. Karakteristik Limbah Cair Tahu Industri Tahu di Desa Sindang Sari	12
Tabel 2.3. Baku Mutu Air Limbah Industri Tahu	13
Tabel 3.1. Hasil Penelitian Biogas Limbah Cair Tahu	13
Tabel 4.1. Data Hasil Pengukuran Biogas	25

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tahu merupakan salah satu jenis makanan sumber protein dengan bahan dasar kacang kedelai yang sangat digemari oleh masyarakat Indonesia. Sebagian besar produk tahu di Indonesia dihasilkan oleh industri rumah tangga yang masih menggunakan cara konvensional. Namun industri tersebut berkembang pesat sejalan dengan kemajuan pengetahuan dan teknologi.

Industri tahu dalam proses pengolahannya menghasilkan limbah berupa limbah padat maupun limbah cair. Limbah padat dihasilkan oleh proses penyaringan dan penggumpalan, limbah ini kebanyakan oleh pelaku industri dijual dan diolah menjadi tempe gembus, kerupuk ampas tahu, dapat juga digunakan sebagai sumber pakan ternak.

Sedangkan limbah cairnya dihasilkan dari proses pencucian, perebusan, pengepresan dan pencetakan tahu, oleh karena itu limbah cair yang dihasilkan sangat tinggi. Limbah cair dengan karakteristik mengandung bahan organik tinggi dan kadar BOD serta COD yang cukup tinggi pula, jika langsung dibuang ke badan air, maka akan menyebabkan pencemaran lingkungan. Oleh

karena itu industri tahu memerlukan suatu pengolahan limbah yang bertujuan untuk mengurangi resiko beban pencemaran yang ada.

Biogas adalah gas yang dihasilkan oleh bakteri apabila bahan organik mengalami proses fermentasi dari bahan-bahan organik termasuk diantaranya kotoran manusia dan hewan, limbah domestik (rumah tangga), dan limbah organik. Untuk itu dalam penanganannya, limbah cair tahu dapat dimanfaatkan sebagai energi alternatif yaitu menjadi biogas.

1.2 Tujuan

Adapun yang menjadi tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui proses pembuatan biogas dengan bahan limbah cair tahu
2. Mengetahui pengaruh waktu tinggal dan komposisi bahan baku terhadap hasil biogas
3. Mengetahui volume dan uji nyala serta komposisi biogas yang dihasilkan

1.3 Batasan Masalah

Adapun yang menjadi batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bahan baku limbah cair industri tahu di Desa Sindang Sari
2. Digester yang digunakan adalah digester tipe balon dengan menggunakan galon
3. Proses fermentasi dilakukan secara anaerob

1.4 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan dari penelitian ini adalah:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini terdiri dari latar belakang, tujuan, batasan masalah, dan sistematika penulisan dari penelitian ini.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan pustaka berisikan tentang teori yang berhubungan dan mendukung masalah yang diambil.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Terdiri atas hal-hal yang berhubungan dengan pelaksanaan penelitian, yaitu tempat penelitian, bahan penelitian, peralatan penelitian, prosedur pembuatan dan diagram alir pelaksanaan penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisikan hasil penelitian dan pembahasan dari data-data yang diperoleh setelah pengujian.

BAB V SIMPULAN DAN SARAN

Berisikan hal-hal yang dapat disimpulkan dan saran-saran yang ingin disampaikan dari penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Memuat referensi yang dipergunakan penulis untuk menyelesaikan laporan Tugas Akhir.

LAMPIRAN

Berisikan pelengkap laporan penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Biogas

Biogas adalah salah satu sumber energi terbarukan yang dapat menjawab kebutuhan energi alternatif. Biogas adalah gas yang dihasilkan oleh proses penguraian bahan – bahan organik oleh mikro organisme dalam keadaan anaerob melalui proses fermentasi termasuk diantaranya kotoran manusia dan hewan, limbah domestik (rumah tangga) dan limbah organik. Biogas yang dihasilkan dari sampah organik merupakan gas yang mudah terbakar (*flammable*) yang didominasi oleh senyawa *methana*(CH₄). Gas ini dihasilkan dari proses fermentasi bahan-bahan organik oleh bakteri anaerob yang tahan pada wilayah atau area yang kedap udara. Sampah dari bahan organik yang homogen, baik padat maupun cair sangat cocok sebagai umpan pada sistem peralatan produksi biogas secara sederhana(Wahyuni,2015).

Kandungan metana dalam biogas yang diproduksi oleh reaktor/digester berbeda-beda tergantung jenis *feed*, komposisi masukan dan lama waktu fermentasi serta kapasitas reaktor. Dalam reaktor biogas mengandung sekitar 60-70 (% Volume) gas metana, 30-40 (% Volume) gas karbondioksida serta gas-gas lain, meliputi ammonia, hidrogen sulfida,

merkaptan (*tio-alkohol*) dan gas lainnya. Secara umum komposisi biogas dapat dilihat pada tabel1 berikut ini:

Tabel 2.1. Komposisi Biogas

Komponen	Persentase(% Volume)
Metana(CH ₄)	55-75
Karbondioksida(CO ₂)	25-45
Nitrogen(N ₂)	0-0,3
Hidrogen(H ₂)	1-5
HidrogenSulfida(H ₂ S)	0-3
Oksigen(O ₂)	0,1-0,5

Sumber:Sri Wahyuni,2011

2.2 Proses pembuatan biogas

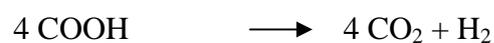
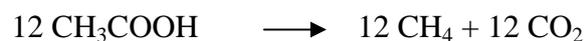
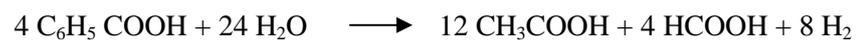
Proses pembuatan gas metan secara anaerob melibatkan interaksi kompleks dari sejumlah bakteri yang berbeda, *protozoa* maupun jamur. Beberapa bakteri yang terlibat adalah *Bacteroides*, *Clostridiumbutyrium*, *Eschericia coli* dan beberapa bakteri usus lainnya, *Methanobacterium* dan *Methanobacillus*. Dua bakteri terakhir merupakan bakteri utama penghasil metan dan hidup secara anaerob. Proses pembuatan metan ini terbagi ke dalam tiga tahap, yaitu :

1. Hidrolisis secara enzimatik, dimana mengubah bahan-bahan organik tak larut menjadi bahan-bahan organik dapat larut. Enzim utama yang terlibat adalah selulase yang menguraikan selulosa.
2. Perubahan bahan-bahan organik dapat larut menjadi asam organik. Pembentukan asam organik ini terjadi dengan bantuan bakteri non methanogenik, *protozoa* dan jamur.

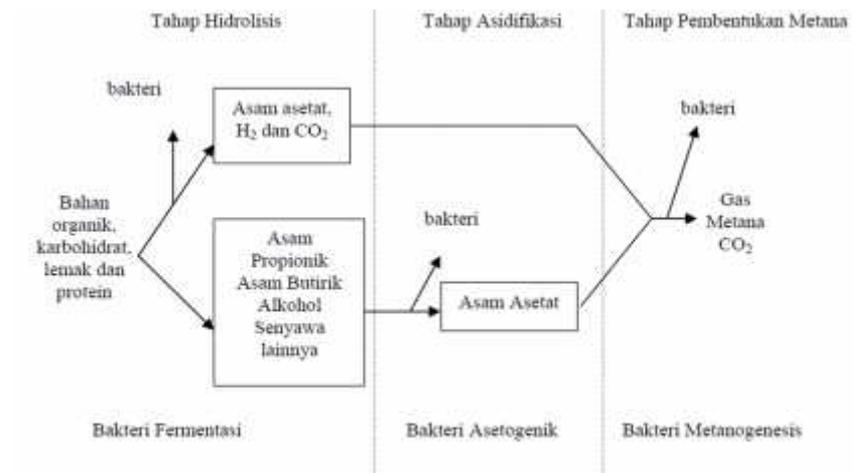
3. Perubahan asam organik menjadi gas metan dan karbondioksida. Proses perubahan ini dapat terjadi karena adanya bantuan bakteri Metanogenik (*Methanobacterium* dan *Methanobacillus*). Keseluruhan reaksi perubahan bahan organik menjadi gas metan dan karbondioksida dapat dituliskan dengan persamaan reaksi sebagai berikut



Persamaan diatas berlaku bila yang menjadi substrat adalah selulosa. Untuk substrat yang berupa senyawa organik kompleks, seperti lignin dan tanin dan senyawa polimer aromatik lainnya, pembentukan gas metan tidak melalui reaksi seperti di atas. Substrat yang berupa senyawa aromatik yang lebih sederhana melalui aktifitas aerobik beberapa enzim ekstraselular yang dihasilkan oleh sejumlah mikroorganisme. Senyawa-senyawa aromatik sederhana ini umumnya benzenoid. Selanjutnya, senyawa benzenoid ini melalui aktifitas bakteri metaorganik, seperti *Methanobacterium formicum* dan *Methanospirillum hungati*, secara anaerob diubah menjadi gas metan dan karbondioksida. Proses perubahan ini terjadi melalui tahapan reaksi seperti berikut :



Secara singkat reaksi keseluruhan di atas dapat disederhanakan menjadi :



Gambar 1. Tahapan dalam Fermentasi Pembentukan Metana (Sugiarto, 1987)

Proses fermentasi yang berlangsung secara anaerobik akan menghasilkan produk akhir pada kondisi pH netral. Contoh dari produk akhir tersebut yaitu asam-asam volatil dengan berat molekul rendah seperti asetat dan laktat dengan jumlah yang bervariasi. Asam volatil dan alkohol sederhana tersebut dapat digunakan sebagai sumber energi atau sumber karbon oleh beberapa bakteri yang bersifat obligat anaerobik seperti bakteri metana. Bakteri tersebut dalam proses metabolismenya akan menghasilkan produk akhir berupa gas metana (Subekti, 2011).

Menurut Sri Subekti (2011) saat ini telah dikenal berbagai bakteri metana di alam. Bakteri metana yang telah berhasil diidentifikasi terdiri dari empat genus, yaitu :

Bakteri bentuk batang dan tidak membentuk spora dinamakan *Methanobacterium*.

Bakteri bentuk batang dan membentuk spora dinamakan *Methanobacillus*

Bakteri bentuk kokos yaitu *Methanococcus* atau kelompok koki yang membagi diri.

Bakteri bentuk sarcinae pada sudut 90° dan tumbuh dalam kotak yang terdiridari 8 sel yaitu *Methanosarcina*.

Tahapan proses pembentukan biogas dapat dibedakan menjadi 4 tahapan utama, yaitu :

a. Hidrolisis

Pada tahap ini senyawa-senyawa organik polimer kompleks seperti polisakarida, protein, dan lemak, didegradasi oleh mikroorganisme hidrolitik menjadi monomer gula, asam amino, dan peptida. Sejumlah besar mikroorganisme anaerob dan fakultatif yang terlibat dalam proses hidrolisis antara lain clostridium.

b. Asidogenesis

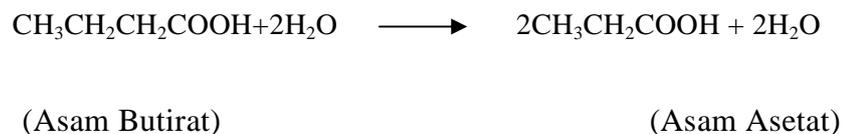
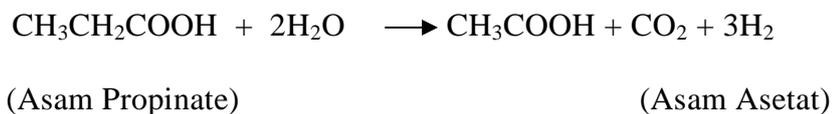
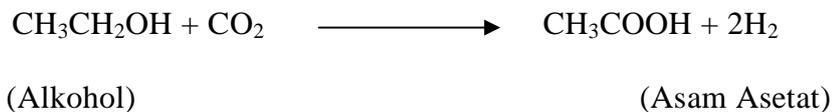
Pada tahap ini, monomer-monomer hasil proses hidrolisis dikonversi menjadi senyawa organik sederhana, seperti asam lemak yang mudah menguap (asam asetat, asam butirat, dan

asam propionat), asam laktat, alkohol, CO₂, H₂, NH₄⁻, HS⁻. Pada tahap ini, konversi dilakukan oleh kelompok mikroorganisme yang kebanyakan adalah bakteri obligat anaerob dan sebagian adalah bakteri anaerob fakultatif.

c. Asetogenesis

Hasil dari proses asidogenesis, pada tahap ini diuraikan oleh bakteri asetogenik (bakteri yang memproduksi asam asetat dan H₂) menjadi asam asetat, H₂, dan CO₂. Alkohol, asam propinat, dan asam butirrat diubah menjadi asam asetat oleh bakteri asetogenik seperti *syntrobacter wolinii* dan *syntrophonas walfei* (Simamora dkk, 2006).

Reaksi penguraian oleh bakteri asetogenik adalah :

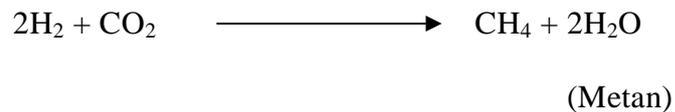


d. Metanogenesis

Tahap terakhir dari proses pembentukan biogas ialah tahap pembentukan gas metan. Tahap ini melibatkan 2 kelompok bakteri metanogen yang berbeda. Bakteri metanogen asetrofik menguraikan asam asetat menjadi metan dan CO₂.



Bakteri metanogen hidrogenotropik mereduksi CO_2 menjadi metan.



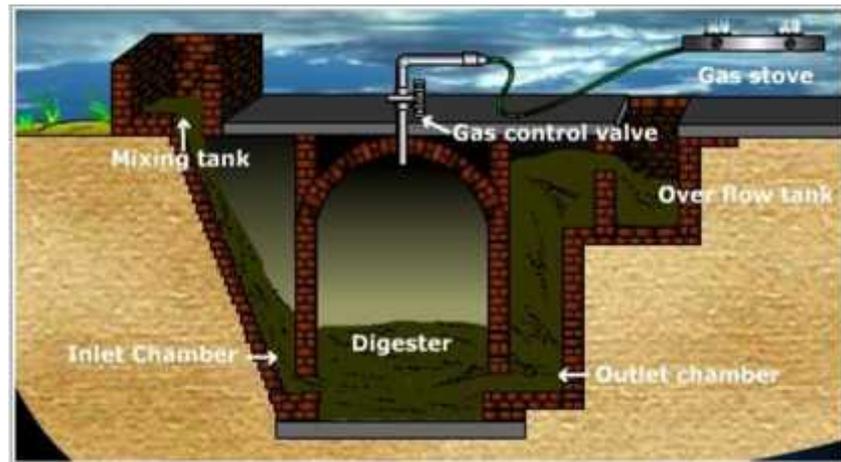
Tiga tahap pertama pada proses pembentukan biogas disebut tahap pembentukan asam, sedangkan tahap keempat disebut tahap pembentukan metan. Proses dekomposisi anaerobik bahan-bahan organik pada proses pembentukan biogas dipengaruhi oleh dua faktor yaitu faktor biotik dan faktor abiotik.

Faktor biotik antara lain jenis mikroorganisme yang aktif di dalam proses dekomposisi. Faktor abiotik antara lain kadar bahan substrat, ratio C/N, kandungan P dalam bahan/substrat, temperatur, zat-zat beracun, pH, dan pengadukan. Mikroorganisme sebagai jasad hidup memerlukan kondisi lingkungan dan makanan yang sesuai untuk mendapatkan kondisi dimana aktifitas mikroorganisme mempunyai persyaratan tertentu untuk tumbuh dan berkembang secara optimal. Terdapat lima variabel yang perlu diperhatikan untuk pertumbuhan dan perkembangannya, antara lain : waktu, makanan, kelembapan, temperatur, dan oksigen untuk yang aerob.

2.3 Jenis-Jenis Reaktor

a. Reaktor kubah tetap (*Fixed-dome*)

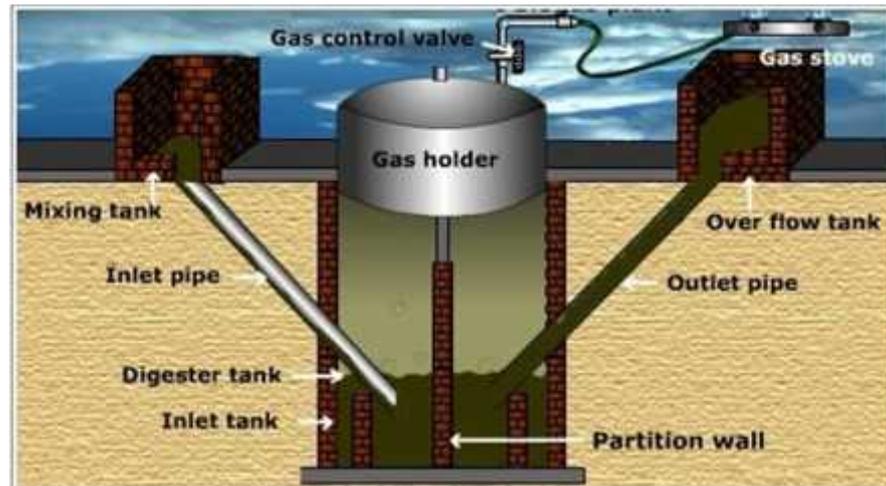
Reaktor ini disebut juga reaktor China. Dinamakan demikian karena reaktor ini dibuat pertama kali di China sekitar tahun 1930 an, kemudian sejak saat itu reaktor ini berkembang dengan berbagai model. Pada reaktor ini memiliki dua bagian yaitu digester sebagai tempat pencerna material biogas dan sebagai rumah bagi bakteri, baik bakteri pembentuk asam ataupun bakteri pembentuk gas metana. Bagian ini dapat dibuat dengan kedalaman tertentu menggunakan batu, batu bata atau beton. Strukturnya harus kuat karna menahan gas agar tidak terjadi kebocoran. Bagian yang kedua adalah kubah tetap (*fixed- dome*). Dinamakan kubah tetap karena bentuknya menyerupai kubah dan bagian ini merupakan pengumpul gas yang tidak bergerak (*fixed*). Gas yang dihasilkan dari material organik pada digester akan mengalir dan disimpan di bagian kubah. Keuntungan dari reaktor ini adalah biaya konstruksi lebih murah daripada menggunakan reaktor terapung, karena tidak memiliki bagian yang bergerak menggunakan besi yang tentunya harganya relatif lebih mahal dan perawatannya lebih mudah. Kerugian dari reaktor ini adalah seringnya terjadi kehilangan gas pada bagian kubah karena konstruksi tetapnya.



Gambar 2. Reaktor Kubah Tetap (*Fixed-dome*) (Simamora dkk, 2006)

b. Reaktor floating drum

Reaktor jenis terapung pertama kali dikembangkan di India pada tahun 1937 sehingga dinamakan dengan reaktor India. Memiliki bagian digester yang sama dengan reaktor kubah, perbedaannya terletak pada bagian penampung gas menggunakan peralatan bergerak menggunakan drum. Drum ini dapat bergerak naik turun yang berfungsi untuk menyimpan gas hasil fermentasi dalam digester. Pergerakan drum mengantung pada cairan dan tergantung dari jumlah gas yang dihasilkan. Keuntungan dari reaktor ini adalah dapat melihat secara langsung volume gas yang tersimpan pada drum karena pergerakannya. Akibat tempat penyimpanan yang terapung menyebabkan tekanan gasnya konstan. Kerugiannya adalah biaya material konstruksi dari drum lebih mahal. Faktor korosi pada drum juga menjadi masalah sehingga bagian pengumpul gas pada reaktor ini memiliki umur yang lebih pendek dibandingkan menggunakan tipe kubah tetap.



Gambar 3. Reaktor Floating Drum (Simamora dkk, 2006)

c. Reaktor balon

Reaktor Balon merupakan jenis reaktor yang banyak digunakan pada skala rumah tangga yang menggunakan bahan plastik sehingga lebih efisien dalam penanganan dan perubahan tempat biogas. Reaktor ini terdiri dari satu bagian yang berfungsi sebagai digester dan penyimpan gas masing masing bercampur dalam satu ruangan tanpa sekat. Material organik terletak dibagian bawah karena memiliki berat yang lebih besar dibandingkan gas yang akan mengisi pada rongga atas.



Gambar 4. Reaktor Balon (Simamora dkk, 2006))

2.4 Limbah Cair Tahu

Limbah cair yang dihasilkan oleh industri pembuatan tahu adalah cairan kental yang terpisah dari gumpalan tahu yang disebut air dadih. Cairan ini mengandung kadar protein yang tinggi dan dapat segera terurai. Limbah cair ini sering dibuang secara langsung tanpa pengolahan terlebih dahulu sehingga menghasilkan bau busuk dan mencemari sungai. Sumber limbah cair lainnya berasal dari pencucian kedelai, pencucian peralatan proses, pencucian lantai dan pemasakan serta larutan bekas rendaman kedelai. Limbah cair tahu mempunyai karakteristik bahan organik tinggi, suhu mencapai 40°C- 46°C, kadar BOD (6.000-8.000 mg/l), COD (7.500-14.000 mg/l), TSS dan pH yang cukup tinggi pula. Jika langsung dibuang ke badan air, maka akan menurunkan daya dukung lingkungan. Oleh karena itu industri tahu memerlukan suatu pengolahan limbah yang bertujuan untuk mengurangi resiko beban pencemaran yang ada. Gas-gas yang biasa ditemukan dalam limbah tahu adalah gas nitrogen (N_2), Oksigen (O_2), hidrogen sulfida (H_2S), amonia (NH_3), karbondioksida (CO_2) dan metana (CH_4). Gas-gas tersebut berasal dari dekomposisi bahan-bahan organik yang terdapat di dalam air buangan. (Sri Wahyuni, 2015).

Menurut Sugiharto (1987), karakteristik fisik yang sangat penting dari air limbah adalah total solid yang tersusun atas zat terapung, zat suspensi, zat kolodial, dan zat dalam solution. Karakteristik fisik lainnya termasuk warna, bau dan suhu. Karakteristik air limbah meliputi :

- a. Zat organik :protein, karbohidrat.

b. Zat anorganik : klorida kalsium, fosfor, alkali, nitrogen.

Karakteristik biologi adalah adanya mikroorganisme dalam air limbah baik yang bersifat patogen maupun bukan patogen. Limbah cair tahu merupakan limbah organik yang terdiri dari senyawa-senyawa kompleks yang dapat diuraikan dan didekomposisi menjadi senyawa sederhana dan unsur-unsur organik. Karakteristik limbah cair tahu dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2.2. Karakteristik Limbah Cair Tahu Industri Tahu di Desa Sindang Sari

Parameter	Nilai kisaran (mg/l)	Baku Mutu (mg/l)
COD	8900	400
pH	4,56	6-9

Sumber : Ryan Ryon Saputra, 2017

Banyak industri tahu skala rumah tangga di Indonesia tidak memiliki proses pengolahan limbah cair. Ketidakinginan pemilik industri tahu untuk mengolah limbah cairnya disebabkan karena tidak efisiennya proses pengolahan limbah. Padahal, limbah cair industri tahu memiliki kandungan senyawa organik tinggi yang memiliki potensi untuk menghasilkan biogas melalui proses an-aerobik. Dengan mengkonversi limbah cair industri tahu menjadi biogas, industri tahu tidak hanya berkontribusi dalam menjaga lingkungan tetapi juga meningkatkan pendapatannya dengan mengurangi konsumsi bahan bakar pada proses pembuatan tahu. Baku mutu standar air limbah industri tahu terdapat dalam Peraturan Gubernur Provinsi Lampung Nomor 7 Tahun 2010.

Tabel 2.3. Baku Mutu Air Limbah Industri Tahu

Parameter	Kadar Maksimal
BOD	150 mg/l
COD	300 mg/l
TSS	100 mg/l
PH	6.0 - 9.0
Debit limbah maksimum	20 m ³ per ton Produk

Sumber : Peraturan Gubernur Provinsi Lampung Nomor 7 Tahun 2010

Jumlah limbah cair yang dihasilkan oleh industri pembuat tahu sebesar 15-20 l/kg bahan baku kedelai, sedangkan bahan pencemar TSS sebesar 30 kg/kg bahan baku kedelai, BOD 65 g/kg bahan baku kedelai dan COD 130 g/kg bahan baku kedelai (EMDI & BAPEDAL, 1994).

Subekti (2011) menyatakan bahwa limbah dengan kandungan bahan-bahan organik dalam konsentrasi tinggi merupakan limbah yang sesuai untuk diproses dalam sistem fermentasi anaerobik. Pengolahan limbah cair secara anaerobik pada dasarnya merupakan penguraian senyawa organik oleh mikroorganisme dalam kondisi tanpa oksigen dan menghasilkan biogas sebagai produk akhir.

a. Derajat keasaman (pH)

Air limbah industri tahu sifatnya cenderung asam, pada keadaan asam ini akan terlepas zat-zat yang mudah menguap. Hal ini mengakibatkan limbah cair industri tahu mengeluarkan bau busuk, pH sangat berpengaruh dalam proses pengolahan air limbah. Baku

mutu yang ditetapkan sebesar 6-9. Pengaruh yang terjadi apabila pH terlalu rendah adalah penurunan oksigen terlarut. Oleh karena itu, sebelum limbah diolah perlu dilakukan pemeriksaan pH serta menambahkan larutan penyangga agar mencapai pH yang optimal.

Nilai pH merupakan faktor pengontrol yang menentukan kemampuan biologis mikroalga dalam memanfaatkan unsur hara. Nilai pH yang terlalu tinggi misalnya, akan mengurangi aktifitas fotosintesis mikroalga. Proses fotosintesis merupakan proses mengambil CO_2 yang terlarut dalam air dan berkaibat pada penurunan CO_2 yang terlarut dalam air.

b. Biological Oxygen Demand (BOD)

Biological Oxygen Demand merupakan suatu analisis empiris yang mencoba mendekati secara global proses-proses mikrobiologis yang benar-benar terjadi di dalam air. Angka BOD adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh bakteri untuk menguraikan (mengoksidasikan) hampir semua zat organik yang terlarut dan sebagai zat-zat yang tersuspensi di dalam air.

BOD merupakan parameter yang umum dipakai untuk menentukan tingkat pencemaran bahan organik pada air limbah. Pemeriksaan BOD diperlukan untuk menentukan beban pencemaran akibat air buangan dan untuk mendesain sistem pengolahan secara biologis. Adanya bahan organik yang cukup tinggi (ditunjukkan dengan nilai BOD dan COD) menyebabkan mikroba menjadi aktif dan mengurai bahan organik tersebut

c. COD (Chemical Oxygen Demand)

COD disebut juga kebutuhan oksigen kimiawi, merupakan jumlah oksigen yang dibutuhkan oksidator untuk mengoksidasi seluruh material baik organik maupun anorganik yang terdapat dalam air. Jika kandungan senyawa organik dan anorganik cukup besar maka oksigen terlarut dalam air dapat mencapai nol sehingga tumbuhan air, ikan-ikan, hewan air lainnya yang membutuhkan oksigen tidak mungkin hidup.

Nilai COD akan selalu lebih besar dibandingkan nilai BOD karena kebanyakan senyawa lebih mudah teroksidasi secara kimia dari pada secara biologi. Pengukuran nilai COD membutuhkan waktu yang jauh lebih cepat, yakni dapat dilakukan selama 3 jam, sedangkan pengukuran BOD paling tidak membutuhkan waktu 5 hari. Jika nilai BOD dan COD sudah diketahui maka kondisi air limbah juga dapat diketahui kondisi baik atau tidaknya.

2.5 Bakteri Psikotropik, Termofilik dan Mesofilik

Berdasarkan suhu optimum pertumbuhannya, bakteri dapat dibedakan atas tiga grup, yaitu

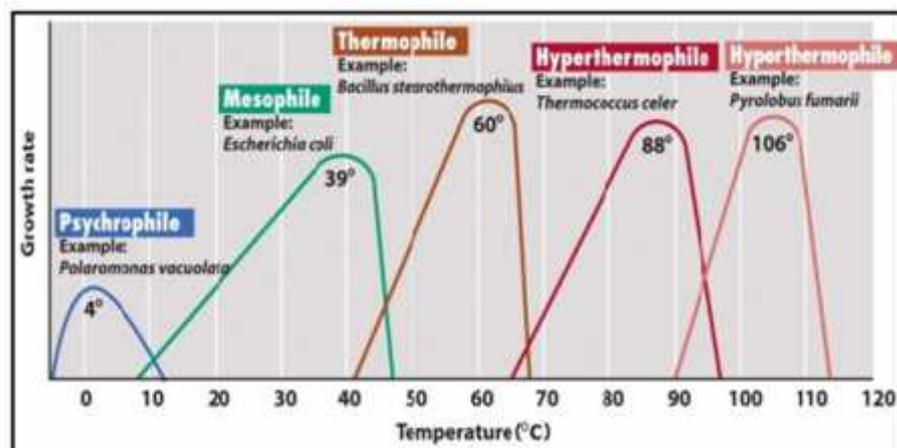
1. Psikotropik: suhu optimum 14-20°C, tetapi dapat tumbuh lambat pada suhu refrigerator (4°C). Kelompok bakteri psikotropik yang penting pada makanan kaleng adalah *Clostridium botulinum* tipe E dan strain non-proteolitik tipe B dan F.

2. Mesofilik: suhu optimum 30-37°C. Suhu ini merupakan suhu normal gudang. Clostridium botulinum merupakan salah satu contoh mikroorganisme kelompok ini.
3. Termofilik: suhu optimum kebanyakan termofilik adalah 45-60°C. Jika spora bakteri tidak dapat bergerminasi dan tidak tumbuh di bawah suhu 50°C, bakteri tersebut disebut obligat termofil.

Jika tumbuh pada kisaran suhu 50-66°C atau pada suhu yang lebih rendah (38°C), bakteri ini disebut fakultatif termofilik. Beberapa obligat termofil dapat tumbuh pada suhu 77°C dan bakteri ini sangat resisten terhadap pemanasan (121°C selama 60 menit). Bakteri termofilik tidak memproduksi toksin selama pertumbuhannya pada makanan. Contoh bakteri dari kelompok ini adalah Bacillus stearothermophilus. Pertumbuhan bakteri ditentukan oleh kondisi pH lingkungannya. Bakteri mempunyai kisaran pH pertumbuhan lebih sempit dibandingkan dengan kapang dan khamir, yaitu antara 4,0-8,0. Kebanyakan bakteri tidak dapat tumbuh pada pH di bawah 4,0 dan di atas 8,0. Makanan yang mempunyai pH <4.0 akan semakin awet karena praktis bakteri tidak dapat tumbuh

Nilai pH atau keasaman makanan dipengaruhi oleh asam yang terdapat pada makanan tersebut. Keasaman ada dalam makanan dapat terjadi secara alamiah, misalnya pada buah-buahan asam; atau terbentuk selama fermentasi, misalnya yoghurt, pickel, sayur asin dan sebagainya. Nilai pH minimum untuk pertumbuhan mikroorganisme kadang-kadang dipengaruhi oleh jenis asam yang terdapat dalam makanan tersebut. Sebagai contoh, beberapa Laktobasili dapat tumbuh pada pH yang lebih

rendah jika asam yang terdapat pada makanan tersebut berupa asam asetat atau asam laktat. Bakteri dapat berbentuk sel vegetatif atau sel spora. Pada umumnya sel vegetatif bakteri lebih sensitif terhadap panas dibanding sel spora, sehingga sel vegetatif bakteri lebih mudah dihancurkan dibandingkan sel spora. Sel vegetatif bakteri dapat dihancurkan dengan proses pasteurisasi, Sedangkan sel spora umumnya dapat dihancurkan dengan proses sterilisasi. Pembentukan spora bakteri adalah salah satu tahap istirahat dalam siklus kehidupan bakteri. Spora bakteri adalah struktur tahan terhadap keadaan lingkungan yang ekstrim, misalnya keadaan kering, pemanasan, keadaan asam dan sebagainya. Beberapa spora bakteri tahan pada suhu air mendidih (100°C) selama 16 jam. Spora yang tahan panas juga tahan terhadap perlakuan kimia. Beberapa spora bakteri tahan lebih dari tiga jam dalam larutan disinfektan yang biasa digunakan di industri pangan. Bakteri yang tidak membentuk spora atau sel vegetatif dengan mudah dapat di-inaktivasi dengan sanitiser.



Gambar 5. Hubungan Suhu dan Pertumbuhan pada Kelompok Mikroorganisme dengan Temperatur yang berbeda.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan di rumah produksi tahu di desa Sindang Sari Kecamatan Tanjung Bintang, Lampung Selatan mulai bulan April – Juli 2017.

3.2 Alat dan bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut :

1. Galon sebagai reaktor
2. Selang kecil
3. Balon sebagai gas holder
4. Tali sebagai pengikat tutup reaktor
5. Limbah cair tahu
6. Kotoran sapi dan kotoran bebek sebagai campuran
7. Chromatogram (Alat uji komposisi gas)

3.3 Prosedur Percobaan

1. Menyiapkan reaktor biogas

Pada tahapan ini penulis membuat rangkaian yang digunakan sebagai reaktor biogas, yaitu tangki penampungan menggunakan galon.



Gambar 6 . Instalasi reaktor biogas skala galon

2. Pembuatan bahan baku

Pada tahapan ini penulis membuat campuran bahan yang akan digunakan sebagai starter pada fermentasi biogas, dengan komposisi campuran sebagai berikut :

1. 100% limbah cair tahu
2. 75% limbah cair tahu dan 25% kotoran sapi
3. 50% limbah cair tahu dan 50% kotoran sapi
4. 75 % limbah cair tahu dan 25 % kotoran bebek
5. 50 % limbah cair tahu dan 50 % kotoran bebek

3. Fermentasi limbah cair tahu menjadi biogas

Pada tahapan ini penulis melakukan fermentasi dari tiap-tiap bahan starter yang telah dibuat dengan waktu tinggal fermentasi yang bervariasi, yaitu 7 hari, 14 hari, 21 hari dan 28 hari

4. Pengamatan dan pengukuran pengaruh waktu tinggal dan komposisi bahan baku pada proses fermentasi terhadap hasil biogas

Pada tahapan ini penulis melakukan pengukuran hasil dari penelitian tugas akhir yang dilakukan. Pengukuran dilakukan dengan cara

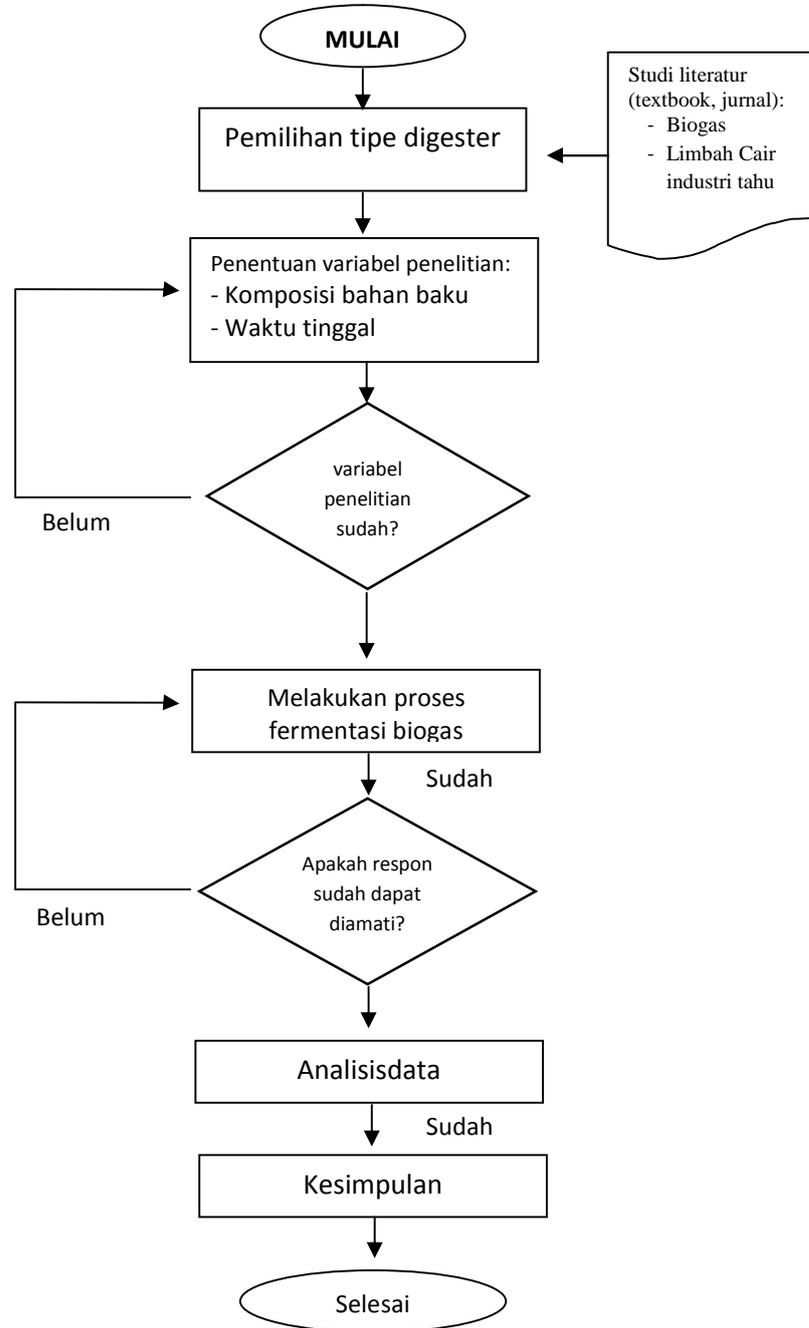
konvensional, dengan menerapkan hukum Archimedes. Dengan cara memasukkan balon penampung gas ke dalam ember yang berisi penuh, kemudian mengukur volume air yang tumpah akibat pemasukan balon. Jadi jumlah air yang tumpah merupakan besar volume gas yang dihasilkan. Dengan tampilan data hasil penelitian yang tersusun dalam tabel berikut ini:

Tabel 3.1 Hasil Penelitian Biogas Limbah Cair Tahu

No	Rasio perbandingan bahan baku (L)	Waktu tinggal (hari)	Hasil Biogas (L)
1	100 % limbah cair tahu	7	
		14	
		21	
		28	
2	Limbahtahu : Kotoran bebek 0,75 : 0,25	7	
		14	
		21	
		28	
3	Limbahtahu : Kotoran bebek 0,50 : 0,50	7	
		14	
		21	
		28	
4	Limbahtahu : Kotoran sapi 0,75 : 0,25	7	
		14	
		21	
		28	
5	Limbahtahu : Kotoran sapi 0,50 : 0,50	7	
		14	
		21	
		28	

3.4 Diagram alir penelitian

Urutan langkah pelaksanaan yang dilakukan dalam penelitian ini dijabarkan dalam *flowchart* percobaan yang akan ditampilkan sebagai berikut :



Gambar 7. Diagram Alir Penelitian

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian yang dilakukan pada penelitian pengaruh waktu tinggal dan komposisi bahan baku pada proses fermentasi terhadap produktivitas biogas limbah cair industri tahu di Desa Sindang Sari, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Waktu tinggal dan komposisi bahan baku sangat berpengaruh terhadap biogas yang akan dihasilkan
2. Rata rata produksi biogas mulai terjadi setelah hari ke-7 dan terus meningkat dan mulai mengalami penurunan setelah hari ke-28
3. Produksi biogas maksimal terjadi pada hari ke-21 yaitu masing-masing sebagai berikut :
 - a. 50% limbah cair tahu 50% kotoran sapi = 8,25 L
 - b. 75% limbah cair tahu 25% kotoran sapi = 10,9 L
 - c. 50% limbah cair tahu 50% kotoran bebek = 7,7 L
 - d. 75% limbah cair tahu 25% kotoran bebek = 7,31 L
4. Limbah cair tahu akan lama diproduksi / dihasilkan jika tanpa menggunakan campuran (Starter) terutama dalam jumlah sedikit

5.2 Saran

Untuk memaksimalkan bila dilakukannya penelitian lanjutan dalam penelitian ini, penulis memberikan saran sebagai berikut :

1. Perlu dilakukan penambahan variasi komposisi bahan baku untuk menghasilkan biogas yang lebih maksimal.
2. Perlu membuat metoda pengukuran volume yang lebih baik.
3. Perlu mengkaji pengaruh nilai COD (Chemical Oxygen Demand) terhadap proses fermentasi biogas.
4. Perlu mengkaji pengaruh temperatur lingkungan dan temperatur digester terhadap proses fermentasi biogas.

DAFTAR PUSTAKA

- EMDI – Bapedal. 1994. Limbah Cair Berbagai Industri di Indonesia. Sumber: Pengendalian dan Baku Mutu, EMDI – Bapedal.
- F.Arifin.2012.Potensi Biogas Limbah Cair Tahu. Universitas Negeri Islam Maulana Malik Ibrahim. Malang.
<http://etheses.uin-malang.ac.id/1072/6/08620042.Bab2.pdf>
- Nurhasan dan BB. Pramudyanto.1991.Penanganan Air Limbah Tahu. Yayasan Bina Karya Lestari. Jakarta. <http://www.menlh.go.id/usaha-kecil>.
- Peraturan Gubernur Provinsi Lampung Nomor 7 Tahun 2010.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 Tentang Pengolahan Kualitas Air Dan Pengendalian Pencemara Air
- Simamora, S, Salundik, Wahyuni, Sri dan Sarajudin. 2006. Membuat Biogas Pengganti Bahan Bakar Minyak dan Gas dari Kotoran Ternak. Jakarta : Agromedia
- Subekti, Sri.2011. *Pengolahan Limbah Cair Tahu Menjadi Biogas Sebagai Bahan Bakar Alternatif*, Teknik Lingkungan, Universitas Padjajaran, Semarang.
- Sugiarto.1987.*Dasar Dasar Pengolahan Air limbah*. Universitas Indonesia, Jakarta
- Wahyuni, Sri. 2015. Panduan Praktis Biogas. Jakarta : Penebar Swadaya
- Wagiman.2006.Identifikasi Produksi Biogas Dari Limbah Cair Tahu Dengan *Reactor Upflow Anaerobic Sluge Blanket (UASB)*.
<http://biosains.mipa.uns.ac.id/C/C0402/c040202.pdf>