

UTILIZATION OF TOFU LIQUID WASTE INTO BIOGAS: REVIEW

Lukhi Mulia Shitophyta*, Sarifa Kaisupy, Indah Puspita Sari
 Department of Chemical Engineering, Universitas Ahmad Dahlan
 Jl. Ringroad Selatan, Kragilan, Bantul, Yogyakarta, 55191, Indonesia

*E-mail corresponding author: lukhi.mulia@che.uad.ac.id

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><i>Article history:</i> Received: 23-01-2021 Received in revised form: 09-02-2021 Accepted: 07-04-2021 Published: 13-04-2021</p>	<p><i>Tofu production produces by-products in the form of liquid waste and solid waste. Tofu liquid waste which contains organic compounds has not been able to be managed properly. Industry owners only disposed of wastes into the environment. It causes water pollution and unpleasant odors around the tofu industry. One of the solutions to reduce environmental pollution is to utilize tofu liquid waste as alternative energy, namely biogas. The management of tofu liquid waste into biogas for the household scale tofu industry can use a fixed bed reactor, batch scale anaerobic reactor, and anaerobic sludge blanket (UASB) up-flow reactor. The UASB reactor is the best reactor for processing tofu liquid waste into biogas on a household scale. The volume of biogas produced by the UASB reactor was 11.115 liters, while the volume of biogas produced by the fixed bed reactor and batch scale anaerobic digester reactor was 3.5 liters and 1.525 liters, respectively.</i></p>
<p><i>Keywords:</i> Alternative energy Biogas Biogas reactor Tofu liquid waste</p>	

PEMANFAATAN LIMBAH CAIR TAHU MENJADI BIOGAS: REVIEW

Abstrak- Produksi tahu menghasilkan produk samping berupa limbah cair dan limbah padat. Limbah cair tahu yang mengandung senyawa-senyawa organik belum mampu dikelola dengan baik. Pemilik industri hanya membuang limbah tersebut ke lingkungan. Hal ini menyebabkan pencemaran air dan bau tidak sedap di sekitar industri tahu. Salah satu penyelesaian untuk mengurangi pencemaran lingkungan adalah dengan memanfaatkan limbah cair tahu sebagai energi alternatif yaitu biogas. Pengelolaan limbah cair tahu menjadi biogas untuk industri tahu skala rumah tangga dapat menggunakan reaktor *fixed bed*, reaktor anaerobik skala *batch* dan reaktor *up-flow anaerobic sludge blanket* (UASB). Reaktor UASB merupakan reaktor terbaik untuk mengolah limbah cair tahu menjadi biogas pada skala rumah tangga. Volume biogas dihasilkan oleh reaktor UASB adalah 11,115 liter, sedangkan volume biogas yang dihasilkan oleh reaktor *fixed bed* dan reaktor digester anaerobik skala *batch*, masing-masing sebesar 3,5 liter dan 1,525 liter.

Kata kunci: biogas, energi alternatif, limbah cair tahu, reaktor biogas.

PENDAHULUAN

Industri tahu merupakan salah satu industri sederhana yang banyak ditemukan dalam skala rumah tangga. Biasanya, permasalahan yang dihadapi oleh pemilik industri tahu skala rumah tangga adalah kurangnya pengetahuan dalam proses penanganan limbah cair tahu (Shitophyta, Purwanti, and Maryudi 2019). Limbah cair tahu yang berasal dari proses pencucian dan perendaman kedelai, pengupasan kulit kedelai, penggilingan, perebusan, penyaringan dan pencetakan tahu ini langsung dibuang ke lingkungan tanpa pengolahan terlebih dahulu. Limbah yang dibuang ke lingkungan akan

menimbulkan bau busuk dan menjadi tempat perkembangbiakan nyamuk. Sementara limbah yang dibuang ke sungai akan menyebabkan berkurangnya oksigen dan matinya organisme dalam air (Setiawan and Rusdijjati 2014).

Limbah cair tahu mengandung banyak senyawa organik seperti protein, karbohidrat, lemak dan minyak. Selain itu, limbah cair tahu juga mengandung gas oksigen (O₂), hidrogen sulfida (H₂S), amonia (NH₃), karbondioksida (CO₂) dan metana (CH₄) (Sally et al. 2015). Hal ini yang menyebabkan pencemaran lingkungan apabila limbah dibuang tanpa adanya proses pengolahan

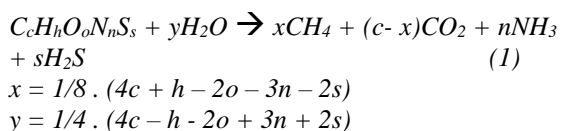
yang sesuai standar pengolahan yang benar. Limbah cair tahu yang dibiarkan lama dan menumpuk mengakibatkan zat yang terkandung dalam limbah sulit terurai oleh mikroorganisme (Setiawan and Rusdijjati 2014). Limbah cair tahu memiliki kandungan BOD dan COD cukup tinggi yang berpotensi menurunkan kualitas kesehatan lingkungan jika dibuang secara langsung ke badan air (Subekti 2011).

Industri tahu skala rumah tangga masih banyak yang belum mampu memproses pengolahan limbah cair tahu. Selain karena kurangnya pengetahuan dalam proses pengolahan limbah cair tahu, juga karena proses pengolahan yang kompleks dan membutuhkan biaya tambahan. Pemilik industri tahu akan berfikir kembali untuk memproses pengolahan limbah cair yang dihasilkan dari produksi tahu. Padahal, kandungan metana yang terdapat pada limbah cair tahu menjadikan limbah cair tahu berpotensi sebagai bahan baku pembuatan biogas (Nisrina and Andarani 2018).

Biogas adalah energi alternatif yang cocok di masa depan, yang dapat mengurangi dampak lingkungan, seperti efek rumah kaca, emisi karbon dioksida dan mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil (Shitophyta et al. 2019). Biogas dipilih sebagai solusi untuk menyelesaikan permasalahan pengolahan limbah cair tahu dikarenakan biogas merupakan sumber energi berkelanjutan yang saat ini banyak digunakan di berbagai negara sebagai bahan bakar dan pembangkit listrik maupun panas. Pengolahan limbah cair tahu menjadi biogas mempunyai beberapa keuntungan seperti: reduksi biaya produksi tahu melalui pemanfaatan biogas sebagai bahan bakar, produksi sludge sebagai pupuk organik, reduksi dampak negatif lingkungan dan perbaikan sistem sanitasi (Shitophyta, Budiyo, and Fuadi 2016).

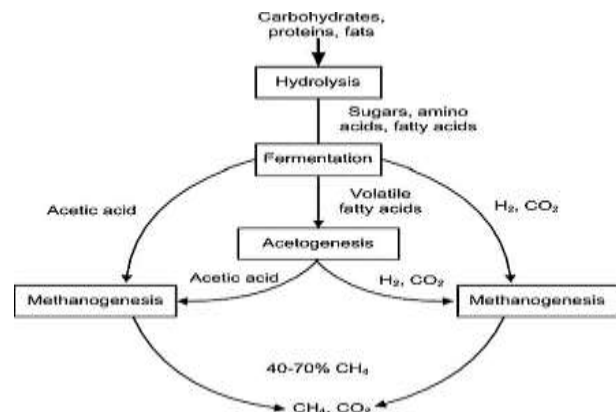
PEMBENTUKAN BIOGAS

Biogas dihasilkan dari pencernaan anaerobik, yang melibatkan banyak kelompok mikroorganisme yang berbeda seperti menghidrolisis, mengasamkan, bakteri asetonik, dan metanogenik. Perumusan peningkatan pembentukan biogas dinyatakan dalam Persamaan 1 (Shitophyta et al. 2016).



Langkah-langkah pembentukan biogas terdiri dari hidrolisis, asidogenesis, asetonogenesis dan metanogenesis (Tahezadeh and Karimi 2008).

Urutan pembentukan biogas dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Proses Pembentukan Biogas (Shitophyta et al. 2016).

HIDROLISIS

Hidrolisis adalah langkah awal dari pencernaan anaerob, yang menguraikan bahan-bahan organik yang rumit, seperti karbohidrat, lemak dan protein menjadi monomer sederhana (glukose, asam amino dan asam lemak rantai panjang). Langkah ini melibatkan bakteri yang mengeluarkan enzim ekstraseluler untuk membantu pemecahan molekul kompleks menjadi molekul sederhana (Kangle, Kore S, and G 2014; Yavini et al. 2014). Beberapa bakteri hidrolisis yaitu *Peptostreptococcus*, *Bifidobacterium*, *Clostridium celerecrescens*, *Bacteroides ruminicola*, *Clostridiummutyricum*, dan *Clostridium viride* (Schnurer and Jarvis 2010; Shitophyta et al. 2016).

FERMENTASI (ACIDOGENESIS)

Langkah asidogenesis adalah proses yang mengubah produk hidrolisis menjadi hidrogen, asam lemak rantai pendek atau asam lemak volatil (asam propionat, asam butirat, dan asam asetat), alkohol dan karbon dioksida oleh bakteri acidogenik (Kangle et al. 2014). Jenis-jenis bakteri asidogen adalah *Enterobacterium*, *Bacteriodes*, *Acetobacterium* dan *Eubacterium* (Schnurer and Jarvis 2010).

ACETOGENESIS

Selama langkah ini, produk asidogenesis (asam lemak volatil dan alkohol) diubah menjadi asetat, hidrogen, dan karbon dioksida oleh *Syntrophomonas* dan *Syntrophobacter*, sedangkan mikroorganisme *homoacetogenic* menghasilkan asam asetat dari hidrogen dan karbon dioksida (Kangle et al. 2014; Shitophyta et al. 2016). Beberapa produk asidogenesis seperti asetat, hidrogen, dan karbon dioksida dapat dikonsumsi langsung oleh metanogen, sedangkan asam lemak

volatil dan alkohol akan dikonversi oleh asetogenik menjadi asetat (Boontian 2014; Shitophyta et al. 2016).

METHANOGENESIS

Tahap terakhir adalah methanogenesis. Selama langkah ini, methanogen bekerja pada kondisi anaerob. Methanogen tidak menurunkan semua substrat. Jenis substrat yang dapat terdegradasi oleh methanogen terdiri dari tiga kelompok, yaitu (Shitophyta et al. 2016):

CO₂ : CO₂, HCOO⁻, CO

Metil : CH₃OH, CH₃NH₃, (CH₃)₃NH₃⁺, (CH₃)₃NH⁺, CH₃SH, (CH₃)₂S

Asetil : CH₃COO⁻

Substrat utama yang digunakan oleh methanogen untuk menghasilkan metana yaitu karbon dioksida, hidrogen, dan asetat. Namun, substrat lain, misalnya, metil amina dan alkohol juga dapat digunakan untuk menghasilkan metana. Methanogen yang menghasilkan metana dari asetat disebut sebagai metanogensor asetat pemecah asetat, sedangkan methanogen yang menggunakan hidrogen dan karbondioksida untuk menghasilkan metana adalah *ashydrogenotrophs* (Boontian 2014; Schnurer and Jarvis 2010).

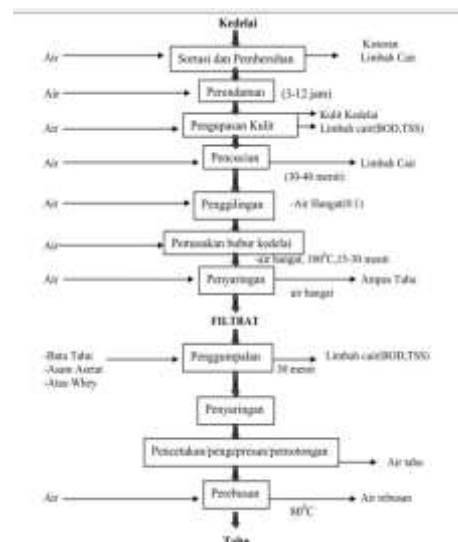
PENGOLAHAN LIMBAH CAIR TAHU MENJADI BIOGAS

Pada umumnya tahu dibuat oleh para pengrajin atau industri rumah tangga dengan peralatan dan teknologi yang sederhana. Urutan proses atau cara pembuatan di semua industri kecil tahu hampir sama dan walaupun ada perbedaan hanya pada urutan kerja atau jenis zat penggumpal protein yang digunakan (Kaswinarni 2007). Pembuatan tahu pada prinsipnya dibuat dengan mengekstrak protein kemudian mengumpulkannya sehingga terbentuk padatan protein (Sani 2006). Proses pembuatan tahu dapat dilihat pada Gambar 2.

Proses produksi tahu menghasilkan produk samping berupa limbah cair yang sampai saat ini menimbulkan permasalahan bagi lingkungan (Shitophyta et al. 2019). Sebagian besar limbah cair yang dihasilkan oleh industri pembuatan tahu adalah cairan kental yang terpisah dari gumpalan tahu yang disebut dengan air dadih (whey). Cairan ini mengandung kadar protein yang tinggi dan dapat segera terurai. Dalam pengolahan limbah cair tahu menjadi biogas digunakan proses anaerobik. Proses anaerobik pada hakikatnya adalah proses yang terjadi karena aktivitas mikroba yang dilakukan pada saat tidak terdapat oksigen bebas (Sani 2006).

Pengolahan limbah cair tahu menjadi biogas pada dasarnya memanfaatkan proses pencernaan

yang dilakukan oleh bakteri methanogen yang produknya berupa gas metana (CH₄). Gas metana hasil pencernaan bakteri tersebut bisa mencapai 60% dari keseluruhan gas hasil reaktor biogas, sedangkan sisanya didominasi CO₂. Bakteri ini bekerja dalam lingkungan yang tidak ada udara (anaerob), sehingga proses ini juga disebut sebagai pencernaan anaerob (anaerob digestion) (Ridhuan 2016).



Gambar 2. Skema Pembuatan Tahu (Kaswinarni 2007)

Dalam memanfaatkan mikroorganisme anaerobik dari limbah, cair, terdapat beberapa jenis reaktor dan metode yang dapat digunakan seperti *upflow an-upflow anaerobic filter process* (UAFP), *upflow anaerobic sludge blanket* (UASB), *anaerobic attached-film expanded-bed reactor* (AAFEB), *anaerobic fluidized bed reactor* (AFBR), *anaerobic mixed microflora under thermophilic conditions*, dan *thermophilic stirred anaerobic* (TSA) reactor. Faisal et al. (2016) melakukan penelitian menggunakan reaktor TSA yang digunakan untuk menghasilkan CH₄ dengan bantuan bakteri termofilik. Reaktor tersebut menggunakan sistem batch, memiliki pengaduk yang berputar 3 rpm, serta memiliki jangka suhu 45-55°C.

Dari hasil pengamatan, didapatkan bahwa penggunaan reaktor yang terbuat dari aluminium ini berpotensi untuk digunakan untuk menghasilkan CH₄ yang dapat diubah menjadi listrik secara langsung. Hal ini karena biogas yang dihasilkan mengandung CH₄ yang cukup tinggi, yakni 79,5%. Selain dengan reaktor TSA, terdapat pula anaerobik baffled reactor yang dapat digunakan dalam mengolah LCT. Limbah cair dialirkan secara teratur sehingga mengalami kontak dengan lumpur aktif yang terdapat pada dinding-dinding sekat di reaktor.

Dapat pula dilakukan penggabungan dua metode atau lebih untuk memahami lebih dalam terkait pemanfaatan LCT ini. Penelitian yang dilakukan oleh Setiawan dan Rusdijati (2014) menggabungkan metode peningkatan kualitas produk Taguchi dengan penggunaan reaktor UASB untuk mengetahui faktor-faktor yang dominan dalam mempengaruhi pembentukan limbah cair tahu sebagai bahan bakar biogas. Hasil produksi biogas dari limbah cair tahu dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil produksi biogas dari limbah cair tahu

Reaktor	Vol. limbah	Vol. biogas	Inokulum	Peneliti
Fixed Bed	35035 L	15997 8 L	Kotoran sapi	(Prasetyadi, 2018)
Digester Anaerobik	16 L	1,525 L	Kotoran sapi	(Nisrina and Andarani, 2018)
UASB	8,5 L	11,11 5 L	Granular	(Wagiman, 2007)

Reaktor *fixed bed* dan reaktor *digester anaerobic* menggunakan cairan kotoran sapi sebagai inokulum yang mana dapat mempercepat waktu pembentukan biogas. Meski menggunakan inokulum yang sama akan tetapi biogas yang dihasilkan dengan menggunakan reaktor *fixed bed* lebih banyak dibanding biogas yang dihasilkan dengan menggunakan reaktor *digester anaerobic* skala *batch*. Hal ini disebabkan karena adanya perbedaan dalam rancangan reaktor. Reaktor *fixed bed* menggunakan material penyangga yang berfungsi untuk memperluas daerah permukaan tempat pertumbuhan dan perkembangbiakan bakteri yang sangat berperan penting dalam pembentukan biogas. Sementara reaktor *digester anaerobic* skala *batch* hanya menggunakan pengaduk biasa sehingga bakteri yang berfungsi untuk mengurai limbah cair tahu bekerja kurang maksimal. Reaktor *fixed bed* digunakan untuk pengolahan limbah cair tahu dengan kapasitas 20000 liter sehingga kurang efisien untuk digunakan pada industri tahu skala rumah tangga. Penggunaan reaktor UASB untuk pengolahan limbah cair tahu menjadi biogas skala rumah tangga lebih efektif dan efisien. Volume biogas yang dihasilkan dengan menggunakan reaktor UASB lebih banyak dibanding dengan reaktor *digester anaerobic* yakni 11,115 liter dan 1,525 liter. Hal ini disebabkan karena perbedaan inokulum yang digunakan. Reaktor UASB menggunakan mikroorganisme yang telah tumbuh (*granular*) sebagai inokulum sementara reaktor *digester anaerobic* menggunakan inokulum kotoran sapi.

Keuntungan atau keunggulan dari pengolahan limbah cair tahu menjadi biogas adalah mengurangi potensi kerusakan hutan yaitu mengurangi penebangan pohon yang digunakan untuk kayu bakar, mencegah dari erosi tanah, dan menghemat pemakaian bahan bakar minyak. Biogas merupakan energi yang ramah lingkungan dan merupakan cara yang aman untuk menempatkan bahan organik jika dikelola dengan baik, sehingga meningkatkan sanitasi dan kesehatan lokal. Sisa padatan dari produksi biogas (lumpur hasil pembangkitan biogas) dapat digunakan untuk pembuatan kompos. Ini dapat mengurangi polusi air tanah dan meningkatkan kualitas udara. Gas metan termasuk gas rumah kaca (*greenhouse gas*), bersama dengan gas karbon dioksida (CO₂) memberikan efek rumah kaca yang menyebabkan terjadinya fenomena pemanasan global. Pengurangan gas metan secara lokal ini dapat berperan positif dalam upaya penyelesaian permasalahan global (efek rumah kaca), sehingga upaya ini dapat diusulkan sebagai bagian dari program internasional Mekanisme Pembangunan Bersih (Clean Development Mechanism/CDM) (Kaswinarni 2007).

FAKTOR YANG MEMPENGARUHI PEMBENTUKAN BIOGAS

Ada beberapa faktor yang perlu diperhatikan dalam pengolahan limbah cair tahu sebagai energi alternatif biogas, yakni:

1. Temperatur

Secara umum, ada tiga suhu dalam pencernaan anaerobik, yaitu psychrophilic (10-25°C), mesofilik (25-45°C), dan termofilik (45-65°C) (Yu et al. 2013). Temperatur yang lebih rendah selama proses akan mengurangi aktivitas methanogen. Methanogen tidak akan aktif pada suhu antara 40°C dan 50°C (Boontian 2014). Suhu ideal untuk methanogenesis sekitar 35-37°C dalam pencernaan mesofilik. Jika suhu turun di bawah suhu ideal, fermentasi mikroorganisme akan dinonaktifkan. Akibatnya, mereka tidak dapat mencerna semua produk hidrolisis (Schnurer and Jarvis 2010). Akibatnya, sistem pH berkurang dan prosesnya. Sebaliknya, suhu yang lebih tinggi menyebabkan produksi gas volatil yang dapat mengurangi hasil biogas (Sally et al. 2015).

2. pH (Derajat Keasaman)

pH adalah parameter penting dalam pencernaan anaerob yang mempengaruhi pertumbuhan mikroorganisme (Gashaw 2014). Persyaratan pH untuk setiap mikroorganisme berbeda karena berbagai mikroorganisme pada tahap pencernaan. PH optimal untuk methanogen, yaitu sekitar 6,8-7,6, sedangkan pH ideal untuk hidrolisis dan asidogenesis antara 5,5-6,5 (Jha et al. 2011). Pertumbuhan

metanogen akan berkurang pada nilai pH dari 6 menjadi 8,5 (Boontian 2014). Pengurangan pH di bawah pH optimal menyebabkan produksi asam organik yang dapat menurunkan pH secara drastis dan menghentikan langkah fermentasi (Shitophyta et al. 2016). Nilai pH di atas 8,5 dapat menghambat proses pencernaan. Peningkatan nilai pH terjadi karena akumulasi amonia selama degradasi protein (Weiland 2010). Metanogen peka terhadap kondisi asam dan pertumbuhannya dapat dihambat oleh kondisi asam. Oleh karena itu, pH ideal untuk pencernaan anaerob berkisar antara 5,5 hingga 8,5 (Kangle et al. 2014).

3. Rasio C/N

Rasio C/N dilambangkan sebagai jumlah karbon dan nitrogen yang ada dalam bahan baku (Yu et al. 2013). Rasio C/N yang beroperasi untuk pencernaan anaerob berkisar antara 20 hingga 30 (Boontian 2014; Gashaw 2014; Shitophyta et al. 2016). Rasio C/N dapat menghasilkan, akumulasi amoniak dan meningkatkan nilai pH di atas 8,5, sedangkan rasio C/N dapat menurunkan produksi biogas karena konsumsi cepat nitrogen oleh methanogen (Shitophyta et al. 2016). Bahan baku dengan C rendah dapat dicampur dengan menambahkan bahan N tinggi untuk mendapatkan rasio C/N optimal (Gashaw 2014).

4. Berat Limbah

Berat limbah memengaruhi nilai pH, suhu, dan efisiensi mikroorganism dalam proses pencernaan. Kadar yang lebih tinggi dapat menghambat aktivitas methanogen karena akumulasi senyawa organik (Ridhuan 2016).

KESIMPULAN

Industri tahu merupakan salah satu industri sederhana yang banyak ditemukan dalam skala rumah tangga. Umumnya limbah cair hasil samping produksi tahu langsung dibuang ke lingkungan tanpa pengelolaan terlebih dahulu sehingga menimbulkan pencemaran lingkungan. Hal ini disebabkan kurangnya pengetahuan dalam mengolah limbah tahu pada skala rumah tangga. Untuk itu pengelolaan limbah cair tahu menjadi biogas bisa dijadikan solusi karena dapat menghasilkan gas metana.

Pengelolaan limbah cair tahu menjadi biogas untuk industri tahu skala rumah tangga dapat menggunakan reaktor *fixed bed*, reaktor anaerobik skala *batch* dan reaktor *up-flow anaerobic sludge blanket* (UASB). Reaktor *fixed bed* digunakan untuk pengolahan limbah cair tahu dengan kapasitas 20.000 liter sehingga kurang efisien untuk digunakan pada industri tahu skala rumah tangga. Penggunaan reaktor UASB untuk pengolahan limbah cair tahu menjadi biogas skala rumah tangga

lebih efektif dan efisien. Volume biogas yang dihasilkan dengan menggunakan reaktor UASB lebih banyak dibanding dengan reaktor *digester anaerobic* yakni 11,115 liter dan 1,525 liter. Hal ini disebabkan karena perbedaan inokulum yang digunakan. Reaktor UASB menggunakan mikroorganisme yang telah tumbuh (granular) sebagai inokulum sementara reaktor *digester anaerobic* menggunakan inokulum kotoran sapi.

KESIMPULAN

Industri tahu merupakan salah satu industri sederhana yang banyak ditemukan dalam skala rumah tangga. Umumnya limbah cair hasil samping produksi tahu langsung dibuang ke lingkungan tanpa pengelolaan terlebih dahulu sehingga menimbulkan pencemaran lingkungan. Hal ini disebabkan kurangnya pengetahuan dalam mengolah limbah tahu pada skala rumah tangga. Untuk itu pengelolaan limbah cair tahu menjadi biogas bisa dijadikan solusi karena dapat menghasilkan gas metana.

Pengelolaan limbah cair tahu menjadi biogas untuk industri tahu skala rumah tangga dapat menggunakan reaktor *fixed bed*, reaktor anaerobik skala *batch* dan reaktor *up-flow anaerobic sludge blanket* (UASB). Reaktor *fixed bed* digunakan untuk pengolahan limbah cair tahu dengan kapasitas 20000 liter sehingga kurang efisien untuk digunakan pada industri tahu skala rumah tangga. Penggunaan reaktor UASB untuk pengolahan limbah cair tahu menjadi biogas skala rumah tangga lebih efektif dan efisien. Volume biogas yang dihasilkan dengan menggunakan reaktor UASB lebih banyak dibanding dengan reaktor *digester anaerobic* yakni 11,115 liter dan 1,525 liter. Hal ini disebabkan karena perbedaan inokulum yang digunakan. Reaktor UASB menggunakan mikroorganisme yang telah tumbuh (granular) sebagai inokulum sementara reaktor *digester anaerobic* menggunakan inokulum kotoran sapi

DAFTAR PUSTAKA

- Boontian, N. 2014. "Conditions of the Anaerobic Digestion of Biomass." *Engineering and Technology International Journal of Environmental and Ecological Engineering* 66(9):1036–40.
- Gashaw, Alemayehu. 2014. "Anaerobic Co-Digestion of Biodegradable Municipal Solid Waste with Human Excreta for Biogas Production: A Review." *Applied Chemistry* 2(4):55–62.
- Jha, Ajay Kumar, Jianzheng Li, Loring Nies, and Liguozhang. 2011. "Research Advances in Dry Anaerobic Digestion Process of Solid Organic Wastes." *Academic Journals* 10(65):14242–53.

- Kangle, K. M., V. Kore S, and Kulkarni S. G. 2014. "Recent Trends in Anaerobic Codigestion : A Review Recent Trends in Anaerobic Codigestion : A Review Abstract :” *Universal Journal of Enviromental Research and Technology* 2(4):210–19.
- Kaswinarni, Fibria. 2007. "Tesis: Kajian Teknis Pengolahan Limbah Padat Dan Cair Industri Tahu.” Universitas Diponegoro.
- Nisrina, Hanifah and Pertiwi Andarani. 2018. "Pemanfaatan Limbah Tahu Skala Rumah Tangga Menjadi Biogas Sebagai Upaya Teknologi Bersih Di Laboratorium Pusat Teknologi Lingkungan – Bppt.” *Jurnal Presipitasi : Media Komunikasi Dan Pengembangan Teknik Lingkungan* 15(2):139.
- Prasetyadi. 2018. "Teknologi Pengolahan Biogas Limbah Tahu Dengan Fixed Bed Reactor.” *Prosiding Seminar Nasional Dan Konsultasi Teknologi Lingkungan* 2(2):1–6.
- Ridhuan, Kemas. 2016. "Pengolahan Limbah Cair Tahu Sebagai Energi Alternatif Biogas Yang Ramah Lingkungan.” *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin* 1(1):1–9.
- Sally, Yessica Putri Budiarto, Meutia Wafa K. Hakim, and Warsono El Kiyat. 2015. "Potensi Pemanfaatan Limbah Cair Untuk Skala Industri Rumah Tangga Di Provinsi Banten.” *Agrointek Journals* 13(1):1–11.
- Sani, Elly Yuniarti. 2006. "Tesis: Pengolahan Limbah Tahu Menggunakan Reaktor Anaerob Bersekat Dan Aerob.” Universitas Diponegoro.
- Schnurer, Anna and Asa Jarvis. 2010. *Microbiological Handbook for Biogas Plants*. 3rd ed. edited by Swedish Waste Management U2009:03. victoria, british Columbia, Canada: Swedish Gas Centre Report 207.
- Setiawan, Agus dan Retno Rusdijjati. 2014. "Peningkatan Kualitas Biogas Limbah Cair Tahu Dengan Metode Taguchi.” *Prosiding SNATIF Journals* 1(1):35–40.
- Shitophyta, Lukhi Mulia, Budiyono, and Ahmad M. Fuadi. 2016. "Solid-State Anaerobic Digestion of Rice Straw for Biogas Production : A Review.” *Chemica* 3(1):17–23.
- Shitophyta, Lukhi Mulia, Siwi Purwanti, and Maryudi. 2019. "Pemanfaatan Limbah Cair Tahu Menjadi Biogas Di Industri Tahu Murni Pak Min Jomblangan, Banguntapn, Yogyakarta.” *Jurnal Pengabdian Masyarakat* 4(4):541–46.
- Subekti, Sri. 2011. "Pengolahan Limbah Cair Tahu Menjadi Biogas Sebagai Bahan Bakar Alternatif.” *Sains Dan Teknologi* (1):1–6.
- Taherzadeh, Mohammad J. and Keikhosro Karimi. 2008. "Pretreatment of Lignocellulosic Wastes to Improve Ethanol and Biogas Production : A Review.” *International Journal of Molecular Sciences* 9(1):1621–51.
- Wagiman. 2007. "Identifikasi Potensi Produksi Biogas Dari Limbah Cair Tahu Dengan Reaktor Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB).” *Bioteknologi* 4(2):41–45.
- Weiland, Peter. 2010. "Biogas Production : Current State and Perspectives.” *Applied Microbiol Biotechnol* 85(4):849–60.
- Yavini, Tsunatu D., Usman H. Taura, Nuhu Mohammed, and M. James. 2014. "Comparative Study of Mesophilic Biogas Production Potentials of Selected Comparative Study of Mesophilic Biogas Production Potentials of Selected Agro-Wastes.” *Engineering and Sciences* 3(11 February 2014):1–6.
- Yu, Liang, Pierre Christian Wensel, Jingwei Ma, and Shulin Chen. 2013. "Mathematical Modeling in Anaerobic Digestion (AD) Bior Emediation & Biodegradation.” *Journal of Bior Emediation & Biodegradation Review Article Mathematical* 84(2):1–12.