

THE COW FESES ADDING EFFECTIVITY OF TOFU LIQUID WASTE AS BIOGAS MATERIAL FOR HANDOUT DEVELOPMENT OF BIOTECHNOLOGY CONCEPT IN THIRD YEAR OF SENIOR HIGH SCHOOL

Vinda Hari Yanti, Darmawati, Mariani Natalina L

E-mail: Vindahariyanti@gmail.com, Darmawati_msi@yahoo.com, Mariani22natalina@gmail.com

Study Program of Biology Education, Faculty of Teacher Training and Education
University of Riau

Abstract: *Aims of this research is determine the effectivity of the addition of cow feses in liquid waste out as a raw material for biogas to the development of biotechnology handout on the concept of class XII High School in January 2016 to March 2016. The research was carried out by two stages, experimentation and development handouts. Research experiments conducted using completely randomized design (CRD), which consists of 4 treatments and 3 replications. If there is a real test there will be a further test Duncans Multiple Range Test (DMRT) at 5% level, while the development of handout done using ADDIE models. Parameters used include volume, pH, temperature, and the test flame. The addition of cow manure in liquid waste out effectively in the production of biogas. Treatment B3 (1500 ml liquid waste out + 1200 ml of cow dung) to be most successful in generating biogas, which can produce biogas volume of 8.44 liters and has a blue flame. The results of this study can be used as a handout development by showing category invalid (3.88) on the concept of biotechnology sub class XII High School in the field of biotechnology breeding material.*

Key Words: *Cow Dung, Tofu Liquid Waste, Biogas , Handouts , Biotechnology*

EFEKTIVITAS PENAMBAHAN KOTORAN SAPI PADA LIMBAH CAIR TAHU SEBAGAI BAHAN BAKU PEMBUATAN BIOGAS UNTUK PENGEMBANGAN *HANDOUT* PADA KONSEP BIOTEKNOLOGI KELAS XII SMA

Vinda Hari Yanti, Darmawati, Mariani Natalina L

E-mail: Vindahariyanti@gmail.com, Darmawati_msi@yahoo.com, Mariani22natalina@gmail.com

Program Studi Pendidikan Biologi Jurusan PMIPA FKIP
Universitas Riau

Abstrak: Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui efektivitas penambahan kotoran sapi pada limbah cair tahu sebagai bahan baku pembuatan biogas untuk pengembangan *handout* pada konsep bioteknologi kelas XII SMA pada bulan Januari 2016 hingga Maret 2016. Penelitian ini dilaksanakan dengan 2 tahap yaitu eksperimen dan pengembangan *handout*. Penelitian *eksperiment* dilakukan dengan menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) yang terdiri dari 4 perlakuan dan 3 ulangan. Jika terdapat uji nyata maka akan dilakukan uji lanjut Duncans Multiple Range Test (DMRT) pada taraf 5%, sedangkan pengembangan *handout* dilakukan dengan menggunakan model ADDIE. Parameter yang digunakan meliputi volume, pH, suhu, dan uji nyala api. Penambahan kotoran sapi pada limbah cair tahu efektif dalam produksi biogas. Perlakuan B3 (1500 ml limbah cair tahu + 1200 ml kotoran sapi) terbukti paling baik dalam menghasilkan biogas, dimana dapat menghasilkan volume biogas sebesar 8,44 Liter dan memiliki nyala api berwarna biru.. Hasil penelitian ini dapat dimanfaatkan sebagai pengembangan *handout* dengan menunjukkan kategori valid (3,88) pada konsep bioteknologi kelas XII SMA pada sub materi penerapan bioteknologi dibidang peternakan.

Kata kunci: Kotoran Sapi, Limbah Cair Tahu, Biogas, *Handout*, Bioteknologi

PENDAHULUAN

Tahu merupakan makanan tradisional sebagian besar masyarakat di Indonesia, yang terbuat dari kacang kedelai. Selain mengandung gizi yang baik, pembuatan tahu juga relatif murah dan sederhana sehingga industri tahu berkembang dengan pesat di berbagai wilayah Indonesia mencapai kurang lebih 84.000 unit usaha dengan kapasitas produksi lebih dari 2,56 juta ton per tahun (Budy, dkk., 2014). Industri ini memberikan sumbangan perekonomian negara dan menyediakan banyak lapangan pekerjaan, namun dalam proses pengolahannya menghasilkan limbah. Menurut Pohan (2008) limbah industri tahu menimbulkan pencemaran yang cukup berat karena mengandung polutan organik yang cukup tinggi. Limbah padat dan cair yang dihasilkan berasal dari air proses pencucian, perendaman serta pembuangan cairan dari campuran padatan tahu dan cairan pada proses produksi (Nugraha, dkk., 2011). Pada umumnya limbah cair tahu yang dihasilkan akan dibuang langsung ke lingkungan sehingga menyebabkan penurunan kualitas lingkungan. Industri tahu memerlukan sistem pengolahan limbah agar tidak mencemari lingkungan. Selain itu, limbah peternakan juga menjadi penyebab timbulnya pencemaran lingkungan salah satunya kotoran sapi. Kotoran sapi yang merupakan limbah peternakan dapat dijadikan bahan campuran pada limbah cair tahu untuk pembuatan biogas. Karena kotoran sapi memiliki kandungan gas metan (CH_4), dimana gas metan adalah komponen yang paling penting dalam biogas.

Biogas adalah gas mudah terbakar yang dihasilkan dari proses fermentasi bahan-bahan organik oleh bakteri-bakteri anaerob (Imam, 2010). Biogas salah satu energi terbarukan yang mengandung berbagai macam gas yaitu CH_4 , CO_2 , N_2 , CO dan H_2 . Bahan baku utama dalam biogas adalah gas metana (CH_4) yang memiliki sifat tidak berbau, tidak berwarna dan mudah terbakar. Penggunaan biogas sebagai energi merupakan langkah yang perlu didukung, mengingat energi yang dipakai saat ini sebagian besar berasal dari minyak bumi yang ketersediaannya semakin menipis dan tidak dapat diperbaharui, Sementara kebutuhan energi semakin meningkat. Oleh karena itu perlu adanya energi yang diproduksi dari bahan yang dapat diperbaharui seperti biogas.

Sistem yang dapat digunakan untuk mengolah limbah cair tahu dan kotoran sapi menjadi biogas adalah sistem Batch Feeding (Mayasari, 2010). Sistem Batch Feeding merupakan jenis digester yang pengisian bahan baku organiknya dilakukan hanya sekali sampai penuh, kemudian ditunggu sampai biogas dihasilkan (Sri Wahyuni, 2011). Menurut Imam (2010) pada dasarnya sistem Batch Feeding merupakan sistem tertutup dan tidak ada penambahan media baru.

Pengelolaan limbah cair tahu dan kotoran sapi menjadi biogas belum banyak diketahui oleh masyarakat, terutama peserta didik pada jenjang SMA kelas XII yang mempelajari salah satu cabang ilmu biologi yaitu Bioteknologi pada semester II. Bioteknologi adalah ilmu yang mempelajari tentang pemanfaatan makhluk hidup dan sisa-sisa yang dihasilkan makhluk hidup untuk menghasilkan suatu produk berupa barang dan jasa. Berdasarkan kurikulum 2013 pada BAB Bioteknologi ini terdapat materi pokok mengenai penerapan bioteknologi dalam bidang peternakan yang juga membahas mikroorganisme pengolah limbah.

Berdasarkan hasil wawancara di beberapa sekolah yang ada di Pekanbaru, permasalahan yang terjadi saat ini yaitu peserta didik memiliki sedikit pengetahuan mengenai penerapan bioteknologi untuk pengolahan limbah, lalu pada umumnya peserta didik hanya memanfaatkan buku teks dan literatur untuk mendapatkan informasi

terkait materi, belum adanya penggunaan handout dalam mata pelajaran biologi pada konsep bioteknologi khususnya tentang pemanfaatan limbah cair tahu dan kotoran sapi menjadi biogas karena kurangnya pengetahuan guru tentang bahan ajar handout. Selain itu masih banyaknya guru yang belum mengetahui aturan baku dalam pembuatan handout untuk sekolah yang sudah menggunakan handout. Sedangkan bahan ajar handout ini menyajikan informasi yang lebih rinci, jelas dan menarik dibandingkan bahan ajar lainnya. Untuk itu diperlukan segala sesuatu yang dapat membantu peserta didik dalam proses pembelajaran salah satunya berupa pengembangan bahan ajar handout yang berkaitan dengan materi.

Handout merupakan bahan pembelajaran yang sangat ringkas. Handout termasuk media cetak yang meliputi bahan-bahan yang disediakan diatas kertas untuk pengajaran dan informasi belajar yang biasanya diambil dari beberapa literatur yang relevan dengan materi dan kompetensi dasar yang harus dikuasai peserta didik. Handout mudah dikembangkan dan memiliki manfaat utama yaitu melengkapi kekurangan materi, baik materi yang diberikan dalam buku teks maupun materi yang diberikan secara lisan. Handout dapat berisi penjelasan singkat tentang suatu materi bahasan, memberi pertanyaan, kegiatan dan umpan balik serta langkah tindak lanjut pada peserta didik.

Berdasarkan hal tersebut, terdapat rumusan masalah yaitu (1) Bagaimana efektivitas penambahan kotoran sapi pada limbah cair tahu sebagai bahan baku pembuatan biogas. (2) Bagaimana hasil penelitian dijadikan pengembangan *handout* pada konsep bioteknologi kelas XII SMA. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian mengenai efektivitas penambahan kotoran sapi pada limbah cair tahu sebagai bahan baku pembuatan biogas untuk pengembangan handout pada konsep bioteknologi kelas XII SMA.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Alam Program Studi Pendidikan Biologi FKIP Universitas Riau pada bulan Januari 2016 hingga Maret 2016. Penelitian ini terdiri dari 2 tahap yaitu tahap penelitian eksperimen dan tahap pengembangan *handout*. Tahap penelitian eksperimen dilakukan dengan menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) terdiri dari 4 perlakuan dan 3 kali ulangan, sehingga diperoleh 12 rancangan percobaan. Data yang diperoleh dari hasil eksperimen dianalisis dengan Analisis Varians (ANOVA). Apabila hasil ANOVA menunjukkan F hitung lebih besar daripada F tabel, maka dilakukan uji lanjut Duncans Multiple Range Test (DMRT) pada taraf 5%.

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat tulis, kamera digital, jerigen 5 L, selang, ember, tabung penampung gas, keran air, klem selang, kepala selang air kuningan, lem, pisau, lilin, korek api, *Beaker Glass*, *Thermometer*, kertas indikator universal, limbah cair tahu dan kotoran sapi.

Penelitian ini dilakukan dengan mempersiapkan alat dan bahan yang diperlukan kemudian disiapkan jerigen 5 L yang sudah dibersihkan sebanyak 12 unit sesuai dengan perlakuan dan ulangan. Selanjutnya kotoran sapi yang sudah didapatkan disaring menggunakan saringan untuk memisahkan cairan dan serat pakan. Lalu cairan kotoran sapi dicampur dengan limbah cair tahu setelah itu dimasukkan kedalam *Beaker Glass* sesuai ukuran yang telah ditentukan, lalu dimasukkan kedalam jerigen 5 L (tabung fermentor), yang terdiri dari B0 (kontrol): 1500 ml limbah cair tahu tanpa

kotoran sapi, B1 (1500 ml limbah cair tahu + 800 ml kotoran sapi), B2 (1500 ml limbah cair tahu + 1000 ml kotoran sapi), B3 (1500 ml limbah cair tahu + 1200 ml kotoran sapi). Melakukan pengukuran suhu dan pH pada masing-masing perlakuan. Tutup dengan rapat tabung fermentor agar tidak terjadi kebocoran. Pemeriksaan kebocoran pada dinding digester dan tabung pengumpul gas dilakukan dengan cara membasuh digester dengan busa sabun, apabila didapatkan kebocoran tambal segera dengan lem dextone. Melakukan pengadukan agar proses dekomposisi berlangsung optimal, Pengadukan dilakukan dengan cara menggoyangkan digester sehingga bahan baku yang ada di dalam digester dapat teraduk. Proses pengadukan dilakukan setiap hari untuk menghindari terbentuknya kerak. Setelah itu pengukuran volume biogas yang terbentuk dilakukan pada hari ke 5, 10, 15 dan 20. Untuk uji nyala api dilakukan ketika sudah terbentuknya biogas.

Parameter yang diamati adalah volume biogas, pH, suhu dan uji nyala. Untuk volume biogas diukur dengan cara mengukur perubahan ketinggian tabung pengumpul biogas dari permukaan air dengan menggunakan penggaris. Perhitungan volume bertujuan untuk mengetahui banyaknya biogas yang dihasilkan. Volume biogas dihitung dengan menggunakan rumus volume tabung.

$$V = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \cdot h$$

Keterangan :

V = Volume Tabung (cm)

$\pi = 3,14$

d = Diameter (cm)

h = Tinggi Tabung (cm)

(David Halliday, dkk., 1985)

pH (Potential of Hidrogen) atau derajat keasaman. Pengamatan pH selama proses anaerob diukur dengan menggunakan kertas indikator universal. Pengukuran dilakukan diawal dan akhir pengamatan dengan mengambil sedikit sampel bahan isian. Aktifitas enzimatik bakteri pada fermentasi terjadi pada rentang pH 6,2-7,8.

Suhu menunjukkan derajat panas benda. Pemantauan temperatur selama proses anaerob dilakukan diawal dan akhir pengamatan dengan menggunakan thermometer yang dicelupkan kedalam bahan isian. Suhu optimum untuk pertumbuhan bakteri dalam fermentasi pembuatan biogas berada pada rentang 25oC-40oC (H.R. Sudrajat, 2007).

Uji Nyala dilakukan untuk melihat warna nyala api yang dihasilkan pada saat pembakaran. Jika gas langsung terbakar dan warna api yang dihasilkan biru, maka gas yang dihasilkan berkualitas baik. Jika biogas mengandung banyak gas-gas pengotor lainnya maka warna api yang dihasilkan biru kemerahan dan jika nyala api hampir tidak terlihat maka kandungan metan dalam biogas yang terbentuk sangat sedikit (Yenny, dkk., 2012).

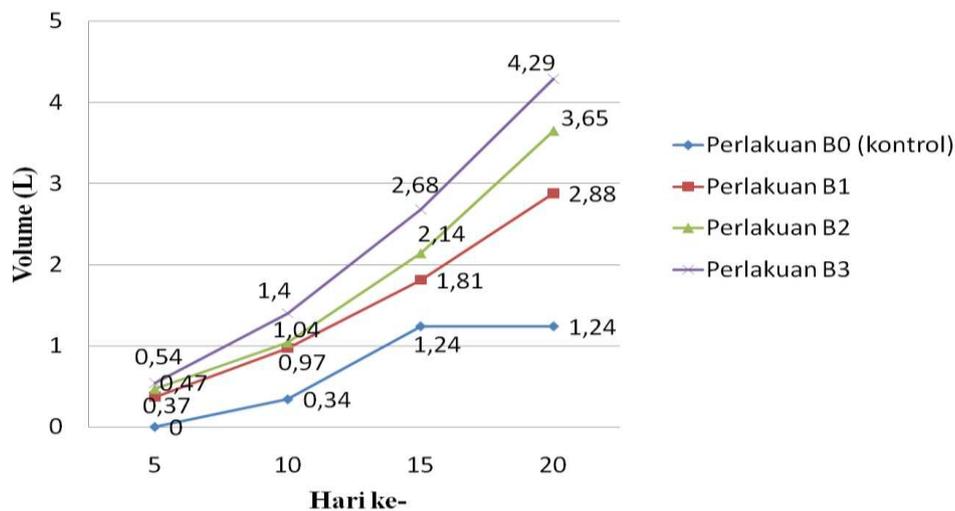
Berdasarkan hasil penelitian efektivitas penambahan kotoran sapi pada limbah cair tahu sebagai bahan baku pembuatan biogas, maka selanjutnya akan dilakukan pengembangan menjadi bahan ajar *handout* konsep bioteknologi kelas XII SMA khususnya pada penerapan bioteknologi lingkungan. Pengembangan *handout* dilakukan dengan menggunakan model ADDIE yaitu pada tahap *Analysis*, *Design*, dan *Development*. *Handout* yang dikembangkan kemudian divalidasi. Validasi dilakukan

oleh 2 ahli materi dan 2 ahli kependidikan (guru) dengan instrumen berupa lembar validasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Volume biogas yang dihasilkan dari penambahan kotoran sapi pada limbah cair tahu

Berdasarkan analisis, penambahan kotoran sapi pada limbah cair tahu berpengaruh terhadap volume biogas yang dihasilkan. Rata-rata volume biogas selama dua puluh hari dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Grafik rerata volume biogas per lima hari yang dihasilkan dari penambahan kotoran sapi pada limbah cair tahu

Berdasarkan Gambar 1 diatas terlihat bahwa pada hari ke-5 perlakuan yang paling banyak menghasilkan biogas adalah perlakuan B3 yaitu 0,54 Liter selanjutnya perlakuan B2 yaitu 0,47 Liter, perlakuan B1 yaitu 0,37 Liter dan B0 (kontrol) belum menghasilkan biogas. Pada hari ke-5, proses fermentasi belum berlangsung optimal, hal ini dikarenakan bakteri baru memasuki fase lag (adaptasi) sehingga penguraian bahan organik menjadi gas metan berlangsung lambat. Menurut Bonang (1982), fase ini merupakan periode penyesuaian diri pada bakteri terhadap lingkungan sehingga belum mampu mengadakan pembiakan secara optimal.

Pada hari ke-10 dan ke-15 volume biogas yang dihasilkan menunjukkan peningkatan dari setiap perlakuan. Perlakuan B3 yaitu 1,40 Liter dan 2,68 Liter, perlakuan B2 yaitu 1,04 Liter dan 2,14 Liter, perlakuan B1 yaitu 0,97 Liter dan 1,81 Liter dan perlakuan B0 (kontrol) yaitu 0,34 Liter dan 1,24 Liter. Disini terlihat bahwa hasil produksi biogas pada perlakuan B0 (kontrol) masih sangat sedikit dibandingkan perlakuan yang lain, hal ini menandakan proses produksi berjalan lambat karena pada perlakuan B0 (kontrol) tidak ada penambahan kotoran sapi sehingga gas metan yang dihasilkan dalam produksi biogas hanya sedikit.

Pada hari ke 20, produksi biogas mengalami peningkatan yang cukup besar. Perlakuan B3 yaitu 4,29 Liter selanjutnya perlakuan B2 yaitu 3,65 Liter dan perlakuan B1 yaitu 2,88 Liter namun, pada perlakuan B0 (kontrol) tidak mengalami peningkatan, hal ini diduga terjadi karena pengaruh pH yang pada perlakuan ini asam sehingga bakteri yang bertahan hidup adalah bakteri asam, sedangkan bakteri metanogenik tidak dapat bertahan hidup. Menurut H.R Sudradjat (2007), bakteri metanogenik tidak dapat bertahan hidup diluar rentang pH 6,2-7,8. Untuk perlakuan yang mengalami peningkatan yang cukup besar, di duga terjadi karena bakteri mengalami fase cepat (fase eksponensial) selama fase ini bakteri telah menyesuaikan diri dengan media sehingga pembiakan bakteri berlangsung cepat, sel-sel membelah dan jumlahnya meningkat sesuai pertambahan waktu.

Hasil pengukuran selama dua puluh hari ini menunjukkan bahwa penambahan kotoran sapi memberi pengaruh yang baik sehingga volume biogas yang dihasilkan lebih besar. Selain itu semakin lama waktu fermentasi maka semakin banyak dan baik kualitas biogas yang dihasilkan. Ini sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan sebelumnya oleh Sintani, dkk., (2014) yang telah melakukan penelitian pembuatan biogas dengan penambahan kotoran sapi, mendapatkan produksi biogas terbaik pada hari ke-20 yaitu sebesar 1,90 kg.

Pengamatan pH

Pengukuran pH dilakukan untuk mengkondisikan pH supaya berada pada rentang 6,2-7,8, karena pH memegang peranan yang sangat penting menentukan laju penguraian bahan organik. Hasil pengukuran pH dalam produksi biogas dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Pengukuran pH pada pembentukan biogas dari limbah cair tahu yang ditambahkan kotoran sapi

Perlakuan	pH	
	Awal	Akhir
B0	5	3,67
B1	7	6
B2	7	6,33
B3	7	6,67

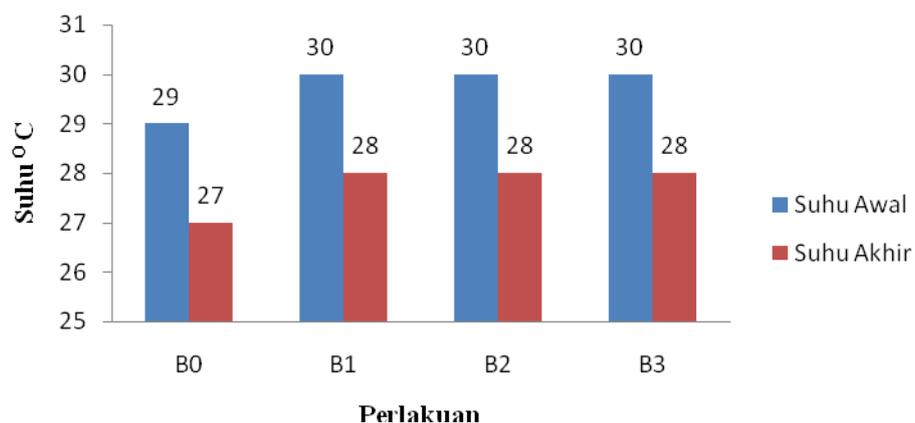
Berdasarkan Tabel 1 diatas terlihat bahwa pada masing-masing perlakuan mengalami penurunan nilai pH, nilai pH terendah 3,67 terdapat pada perlakuan B0 dan nilai tertinggi yaitu 6,67 terdapat pada perlakuan B3 dengan penambahan kotoran sapi sebanyak 1200 ml. Pada perlakuan B0 mengalami penurunan pH secara drastis. Hal ini terjadi karena jumlah bakteri asam organik lebih banyak dari pada bakteri metanogenik. Menurut Ratnaningsih, dkk., (2009) penuruna nilai pH menandakan masih berlangsungnya tahap asetogenik (tahap pembentukan asam) pada substrat, dimana dalam kondisi asam menjadi toksik bagi bakteri methanogenik, sehingga menghambat pembentukan biogas. Selain itu komposisi bahan juga dapat mempengaruhi nilai pH dimana limbah cair tahu mempunyai nilai pH rendah (bersifat asam).

Pengamatan pH pada perlakuan B1, perlakuan B2 dan perlakuan B3 di akhir pengukuran tidak turun secara drastis, hal ini disebabkan pada perlakuan ini diberi penambahan kotoran sapi, dimana kotoran sapi ini mengandung berbagai macam mikroba salah satunya protozoa. Menurut Nuricha Verninda, dkk., (2015) Protozoa merupakan mikroba yang sebagian besar bersifat anaerob dikarenakan perkembangan protozoa tidak membutuhkan oksigen.

Dalam pembentukan biogas, protozoa berperan dalam tahap fermentasi karena adanya persamaan proses pada fermentasi anaerob pembentukan CH₄. Protozoa memangsa bakteri kemudian mencernanya menjadi sumber asam amino untuk pertumbuhannya, kondisi ini tidak mengakibatkan bahan isian didalam fermentor terlalu asam sehingga pH tidak akan turun secara drastis. Menurut Ratnaningsih. dkk., (2009) pada proses fermentasi, pH akan selalu turun karena sejumlah mikroorganisme tertentu akan mengubah bahan organik menjadi asam-asam organik. Asam organik yang dihasilkan ini akan digunakan sebagai substrat pembentuk metan. Selain itu menurut Sintani, dkk., (2014) Menyatakan bahwa kemungkinan keberadaan bakteri metanogenik untuk mengkonsumsi asam kurang memadai sehingga tidak mampu mempertahankan dan mencapai pH optimum dalam pembentukan biogas.

Pengamatan Suhu

Suhu juga merupakan salah satu faktor yang dapat mempengaruhi produksi biogas. Bakteri penghasil biogas memerlukan kondisi tertentu dan sensitif terhadap lingkungan di dalam digester. Pada umumnya bakteri metanogenik tidak aktif pada suhu yang sangat tinggi atau terlalu rendah. Menurut H.R. Sudrajat (2007) Suhu optimum bagi pertumbuhan bakteri ini yaitu pada rentang 25-40°C. Suhu optimum yaitu suhu dimana organisme tumbuh dan bekerja paling efisien, memiliki nilai bervariasi untuk setiap spesiesnya. Pengukuran suhu dilakukan pada awal dan akhir penelitian, hasil pengukuran suhu dapat dilihat pada Gambar 2.

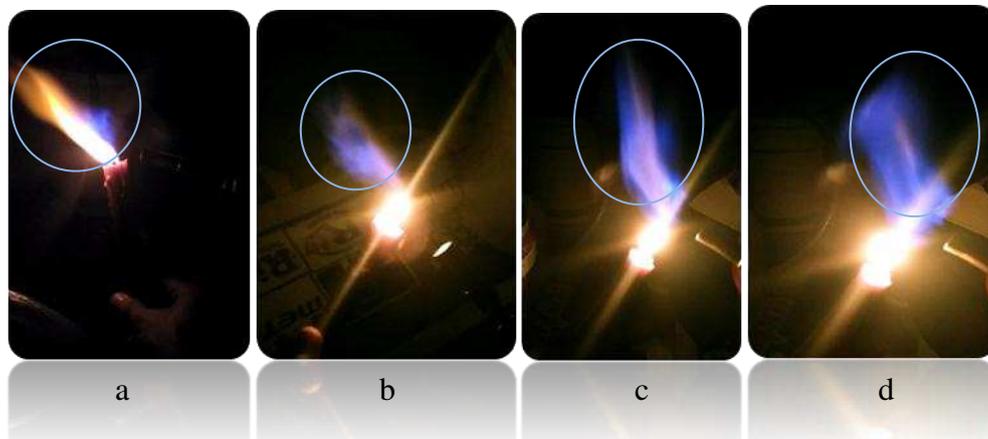


Gambar 2. Grafik perubahan suhu sebelum dan setelah proses fermentasi pada pembentukan biogas dari limbah cair tahu yang ditambahkan kotoran sapi

Dilihat dari Gambar 2 di atas terlihat bahwa terjadi penurunan suhu di akhir pengukuran. Pada perlakuan B0 mengalami penurunan suhu menjadi 27 °C sedangkan pada perlakuan B1, perlakuan B2 dan perlakuan B3 mengalami penurunan suhu menjadi 28 °C. Penurunan ini menandakan bahwa telah berkurangnya aktivitas bakteri dalam melakukan perombakan substrat menjadi biogas karena pada pembuatan biogas ini pemasukan bahan isian dilakukan sekali dan tidak ada penambahan bahan isian baru sehingga lama kelamaan bakteri tidak lagi tumbuh dan berkembang, selain itu juga dipengaruhi oleh temperatur lingkungan yang selalu berubah sehingga suhu di dalam digester mengalami penurunan. Tetapi perubahan suhu tersebut tidak mempengaruhi proses pembentukan biogas, karena masih termasuk dalam keadaan suhu mesofilik bagi pertumbuhan bakteri. Hal ini sesuai dengan pendapat Pambudi (2008) yaitu suhu udara secara tidak langsung mempengaruhi suhu dalam tangki pencerna. Peranan suhu udara berhubungan dengan proses dekomposisi anaerobik.

Uji Nyala

Salah satu cara untuk mengetahui kualitas biogas yang di hasilkan, dapat diketahui dengan melihat warna nyala api pada saat pembakaran. Dari hasil uji nyala api yang telah dilakukan didapat dua warna nyala api yaitu biru dan biru kemerahan. Jika biogas menghasilkan nyala api berwarna biru maka hal ini menandakan bahwa gas metan (CH_4) sudah terbentuk sehingga biogas yang dihasilkan berkualitas baik, namun jika warna nyala api cenderung biru ke merahan ini menandakan bahwa biogas mengandung banyak gas pengotor seperti CO_2 dan H_2S .



Gambar 3. Warna nyala api dalam produksi biogas dari penambahan kotoran sapi pada limbah cair tahu (a) B0, (b) B1, (c) B2 dan (d) B3

Berdasarkan hasil pengamatan setiap perlakuan B1 (1500 ml limbah cair tahu + 800 ml kotoran sapi), B2 (1500 ml limbah cair tahu + 1000 ml kotoran sapi) dan B3 (1500 ml limbah cair tahu + 1200 ml kotoran sapi) menunjukkan warna nyala api biru. Ini menunjukkan bahwa biogas yang dihasilkan mengandung gas metan hal ini dikarenakan pada perlakuan B1, B2 dan B3 diberi penambahan kotoran sapi, dimana kotoran sapi ini mengandung bahan organik yang tinggi sehingga bakteri pada bahan organik tersebut akan menghasilkan banyak gas metan, sedangkan pada perlakuan B0

(1500 ml limbah cair tahu) nyala api yang dihasilkan berwarna biru kemerahan, hal ini terjadi karena tidak adanya penambahan kotoran sapi pada perlakuan tersebut sehingga gas metan yang dihasilkan tidak banyak. Perlakuan yang memiliki kualitas biogas paling baik dari keempat perlakuan yaitu perlakuan B3 karena api yang dihasilkan besar dan berwarna biru serta sewaktu disulutkan api langsung terbakar. Warna nyala api ditentukan oleh jumlah gas metan dan gas pengotor (H_2O , CO_2 , H_2S) yang terdapat didalam biogas tersebut. Jika biogas sedikit mengandung gas pengotor (H_2O , CO_2 , H_2S) maka api yang dihasilkan akan berwarna biru, namun jika biogas banyak mengandung gas pengotor maka warna api yang dihasilkan akan berwarna biru kemerahan.

Pada umumnya apabila gas metana ini dibakar maka akan berwarna biru dan menghasilkan banyak energi panas. Energi yang terkandung dalam biogas tergantung dari konsentrasi metana. Semakin tinggi kandungan metana maka semakin besar kandungan energinya (Pambudi 2008).

Pengembangan *Handout* dari Hasil Penelitian pada Konsep Bioteknologi Kelas XII SMA

Hasil penelitian yang didapatkan dikembangkan menjadi bahan ajar berupa bahan ajar *handout*. Langkah pengembangan bahan ajar dilakukan menggunakan model pengembangan ADDIE (*Analysis, Design, Development, Implementation dan Evaluation*). Namun dalam pengembangan *handout* ini hanya dilakukan pada tahap *analysis, design dan development*.

Handout yang dikembangkan selanjutnya dilakukan validasi. Aspek penilaian *handout* meliputi aspek tampilan, aspek isi, aspek kepraktisan, aspek bahasa dan aspek kesesuaian. Hasil validasi tertinggi hingga terendah berturut-turut adalah aspek tampilan dengan rerata 4 (valid), aspek isi dengan rerata 3,91 (valid), aspek bahasa dengan rerata 3,91 (valid), aspek kepraktisan dengan rerata 3,87 (valid), dan aspek kesesuaian dengan rerata 3,75 (valid)

Secara umum, dari 5 aspek penilaian pada *handout* bioteknologi lingkungan, maka *handout* ini memiliki rerata 3,88 dengan kategori valid sehingga *handout* ini dapat digunakan oleh peserta didik dalam pembelajaran konsep bioteknologi khususnya bioteknologi lingkungan dengan sedikit revisi. Adapun saran-saran yang diberikan validator terhadap *handout* ini adalah istilah-istilah dalam proses kimia pada halaman 5 perlu dijelaskan, perlu adanya penjelasan fungsi dari bagian rangkaian alat pembuatan biogas pada halaman 7 serta gambar terlalu kecil, penggunaan foto dokumentasi, penulisan KI, KD, Indikator terlalu banyak memakan tempat, pada lembar kegiatan soal No.3 perlakuan B0, B1, B2 dan B3 dirincikan lagi dan untuk prinsip kerja dalam produksi biogas sebaiknya dipisahkan.

Berdasarkan saran-saran yang telah diberikan oleh validator, maka perlu dilakukan revisi atau perbaikan terhadap bahan ajar *handout* ini. *Handout* ini merupakan hasil perbaikan berdasarkan saran-saran tersebut untuk digunakan dalam pembelajaran bioteknologi lingkungan. Adanya *handout* ini, diharapkan dapat memberikan kemudahan bagi peserta didik dalam memahami konsep penerapan bioteknologi dibidang lingkungan. Selain itu, juga dapat menambah wawasan peserta didik mengenai pemanfaatan limbah cair tahu dan kotoran sapi dalam pembuatan biogas.

SIMPULAN DAN REKOMENDASI

Kesimpulan

1. Penambahan kotoran sapi pada limbah cair tahu efektif dalam produksi biogas. Perlakuan B3 (1500 ml limbah cair tahu + 1200 ml kotoran sapi) terbukti paling baik dalam menghasilkan biogas, dimana dapat menghasilkan volume biogas sebesar 8,44 Liter dan memiliki nyala api berwarna biru.
2. Hasil penelitian ini dapat dimanfaatkan sebagai pengembangan *handout* pada konsep bioteknologi kelas XII SMA pada sub materi penerapan bioteknologi dibidang peternakan.

Rekomendasi

1. Melakukan analisis kandungan gas metan yang terbentuk pada biogas.
2. Perlu menambah lama waktu fermentasi sampai pada tahap stasioner.
3. Melakukan penelitian lebih lanjut menggunakan fermentor dengan skala yang lebih besar.
4. Perlu mempertimbangkan waktu yang dibutuhkan oleh peserta didik dalam melakukan praktikum pembuatan biogas diluar jam pelajaran.
5. Melakukan uji coba terbatas pada *handout* yang dikembangkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ari Rahmat Mustakim. 2013. Uji Potensi Biogas dari Sampah Organik Sebagai Bahan Bakar Alternatif. Skripsi. Fakultas Teknik Universitas Riau. Pekanbaru.
- Budy, Tedi Hartoyo dan Yaya Sunarya. 2014. Biogas Production From Tofu Liquid Waste On Treated Agricultural Wastes. Jurnal Pertanian dan Ilmu Biologi, 9(2): 226-231.
- David Hallyday. 1985. Fisika Jilid 1 Edisi ketiga. Erlangga. Jakarta
- E. Gumbira Sa'id. 1987. Bioindustri Penerapan Teknologi Fermentasi. PT. Mediyatama Sarana Perkasa. Jakarta.
- H.R. Sudradjat. 2007. Mengelola Sampah Kota. Penebar Swadaya. Jakarta.
- Imam Sadzali. 2010. Potensi limbah tahu sebagai biogas. Jurnal Sains dan Teknologi. Vol.1 : 63-69.

- Mayasari, D.H. 2010. Pembuatan Biodigester Dengan Uji Coba Kotoran Sapi Sebagai Bahan Baku. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Nugraha, Happy dan Hari, S. 2011. Pengukuran Produktivitas dan Waste Reduction dengan Pendekatan Productivity. Jurusan Teknik Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Nuricha Verninda, Yuli Astuti Hidayati dan Deden Zamzam Badruzzaman. 2015. Identifikasi Protozoa Pada Feses Sapi Potong Sebelum dan Sesudah Proses Pembentukan Biogas Pada Digester Fixed-Dome. Jurnal Universitas Padjadjaran, Vol 2: 1-10
- Pambudi, A. 2008. Pemanfaatan Biogas Sebagai Energi Alternatif. Universitas Sebelas Meret, Surakarta.
- Pohan, N. M. 2008. Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu dengan Proses Biofilter Aerobik. Sekolah Pascasarjana Universitas Sumatera Utara.
- Ratnaningsih, H. Widyatmoko, Trieko Yananto. 2009. Potensi Pembentukan Biogas Pada Biodegradasi Campuran Sampah Organik Segar dan Kotoran Sapi Dalam Batch Reaktor Anaerob. Jurnal Teknik Lingkungan. Vol. 5(1): 19-26.
- Sasse, L. 1992., Pengembangan Energi Alternatif Biogas dan Pertanian Terpadu di Boyolali Jawa Tengah, Borda-LPTP, Surakarta.
- Sintani Novita Sari, Mumu Sutisna dan Yulianti Pratama. 2014. Biogas Yang Dihasilkan dari Dekomposisi Eceng Gondok (*Eicchornia Crassipes*) Dengan Penambahan Kotoran Sapi Sebagai Starter. Jurnal Institut Teknologi Nasional, 2(1):1-10
- Sri Wahyuni. 2011. Menghasilkan Biogas Dari Aneka Limbah. Cet 1. Jakarta. AgroMedia Pustaka.
- Tuti, H. 2006. Biogas : Limbah peternakan yang menjadi sumber energi alternatif. Jurnal Wartazoa, 16 (3) : 160-169
- Yenny, D. Yommi., dan S., M. Sari. 2012. Uji Pembentukan Biogas dari Substrat Sampah Sayur dan Buah Dengan Ko-Substrat Limbah Isi Rumen Sapi. Vol 1: 26-36.