

**EFFECTIVENESS THE ADDITION OF THE COW RUMEN FLUID
CONTENT OF ORGANIC WASTE IN PRODUCING BIOGAS
AS A HANDOUT APPLICATION DEVELOPMENT
IN THE FIELD OF BIOTECHNOLOGY FARMS
IN CLASS XII HIGH SCHOOL**

Geni Meiry Sukma*, Darmawati, Imam Mahadi

e-mail: geni.merry@yahoo.com, darmawati_msi@yahoo.com, I_mahadi@yahoo.com

phone: +6285366004172

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

Abstrak: This study was conducted to determine the effectiveness of the addition of the cow rumen fluid content of organic waste in producing biogas as a handout biotechnology development in the field of animal husbandry in the high school class XII., The study was conducted in March-April 2015. This research was carried out by two phases: biogas production using experimental research and development stage handout. Experimental study was conducted using completely randomized design (CRD), which consists of 4 treatments and 3 replicates in order to obtain 12 experimental design. If there is a difference between treatments meal test Duncan Multiple Range Test (DMRT) at 5%. The parameters observed biogas volume, pH, temperature and flame. The addition of the cow rumen fluid content of 250 ml best produce biogas. Where produce biogas volume as much as 447.68 cm³, pH 6, the temperature of 35°C and produce a blue flame. Results of the study was developed as a handout that the material application of biotechnology in the field of animal husbandry.

Kata kunci: *handout*, bioteknologi peternakan, cairan isi rumen sapi, biogas

**EFEKTIVITAS PENAMBAHAN CAIRAN ISI RUMEN SAPI
PADA SAMPAH ORGANIK DALAM MEMPRODUKSI BIOGAS
SEBAGAI PENGEMBANGAN *HANDOUT* PENERAPAN
BIOTEKNOLOGI DALAM BIDANG PETERNAKAN
DI SMA KELAS XII**

Geni Meiry Sukma*, Darmawati, Imam Mahadi

e-mail: geni.merry@yahoo.com, darmawati_msi@yahoo.com, I_mahadi@yahoo.com
phone: +6285366004172

Program Studi Pendidikan Biologi, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan
Universitas Riau

Abstrak: Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui efektivitas penambahan cairan isi rumen sapi pada sampah organik dalam memproduksi biogas sebagai pengembangan *handout* penerapan bioteknologi dalam bidang peternakan di SMA kelas XII., penelitian ini dilakukan pada bulan Maret-April 2015. Penelitian ini dilaksanakan dengan 2 tahap yaitu tahap pembuatan biogas dengan menggunakan penelitian eksperimental dan tahap pengembangan *handout*. Penelitian eksperimen dilaksanakan dengan menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) yang terdiri dari 4 perlakuan dan 3 ulangan sehingga diperoleh 12 rancangan percobaan. Jika terdapat perbedaan antar perlakuan maka dilakukan uji *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) pada taraf 5 %. Parameter yang diamati meliputi volume biogas, pH, suhu dan nyala api. Penambahan cairan isi rumen sapi sebanyak 250 ml menghasilkan biogas terbaik. Dimana menghasilkan volume biogas sebanyak 447,68 cm³, pH 6, suhu 35°C dan menghasilkan nyala api berwarna biru. Hasil dari penelitian dikembangkan sebagai *handout* yaitu pada materi penerapan bioteknologi dalam bidang peternakan.

Kata kunci: *handout*, bioteknologi peternakan, cairan isi rumen sapi, biogas

PENDAHULUAN

Tingkat pertumbuhan penduduk Indonesia yang tinggi mengakibatkan jumlah sampah yang dihasilkan juga bertambah (Damanhuri dalam Yenni, dkk. 2012). Sebagian besar sampah yang dihasilkan merupakan sampah organik. Kondisi ini akan menjadi permasalahan karena sampah yang dihasilkan akan mencemari lingkungan sehingga kualitas hidup masyarakat menurun, sementara penanggulangan sampah saat ini masih belum memadai. Penanggulangan sampah yang tidak memadai ini akan menyebabkan terbentuknya gas metana yang berlebihan dari hasil penguraian tumpukan sampah secara aerob dan anaerob sehingga menimbulkan efek rumah kaca dan berkontribusi dalam pemanasan global.

Permasalahan pengelolaan sampah tersebut dapat diminimalisir dengan menerapkan pengelolaan sampah yang terpadu (*Integrated Solid Waste Management/ISWM*), diantaranya *waste to energy* atau pengolahan sampah menjadi energi (Yenni, dkk. 2012). Salah satu pengelolaan sampah menjadi energi yaitu berupa biogas yang memanfaatkan sampah organik, jerami padi, rumen sapi, pupuk kandang, dan lain-lain. Pemanfaatan sampah organik sebagai penghasil biogas dapat mengurangi pencemaran lingkungan, mengurangi produksi gas metana yang berlebihan sehingga mampu mengurangi pemanasan global. Sampah organik yang sering ditemukan selain dalam bentuk sayuran juga berupa limbah rumen sapi. Bahan yang dapat digunakan dalam menghasilkan biogas tersebut adalah cairan isi rumen dan kotoran sapi karena masih mengandung bahan organik yang tinggi (Manendar dalam Arsul Ihsan, dkk. 2013).

Pengolahan limbah cairan isi rumen sapi dapat dikelola dengan memfermentasikan secara aerob dan anaerob sehingga menghasilkan biogas yang didegradasikan oleh mikroba. Rumen sapi merupakan salah satu tempat tumbuhnya mikroba seperti bakteri. Menurut Arsul Ihsan, dkk (2013) salah satu dari jenis bakteri yang hidup dalam rumen tersebut adalah bakteri metanogenik, yang dapat merombak zat organik menjadi gas metana. Bakteri metanogenik antara lain *Metanobacterium*, *Metanosarcina* dan *Metanospirillum* yang berperan dalam pembentukan gas metana dapat tumbuh baik dalam cairan rumen (Yazid dan Bastianudin, 2011).

Bioteknologi merupakan cabang 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 jenjang SMA kelas XII terdapat materi pokok mengenai penerapan bioteknologi bidang peternakan yang dipelajari pada semester II.

Berdasarkan kenyataan yang ada, permasalahan yang terjadi saat ini yaitu sampah di sekolah tidak dikelola dengan baik, kurangnya pemahaman peserta didik mengenai penerapan bioteknologi dalam bidang peternakan, karena selama ini peserta didik hanya mengetahui bahwa penerapan bioteknologi dalam bidang peternakan hanyalah pembuatan pupuk organik. Belum adanya penggunaan *handout* dalam pelajaran biologi pada konsep Bioteknologi khususnya penerapan bioteknologi dalam bidang peternakan. Berdasarkan hal tersebut, guru biologi dituntut untuk dapat memanfaatkan segala sesuatu yang dapat membantu peserta didik dalam proses pembelajaran salah satunya berupa pengembangan bahan ajar seperti *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. Oleh karena itu peneliti melakukan penelitian untuk mengetahui efektivitas penambahan cairan isi rumen sapi pada sampah organik dalam memproduksi biogas sebagai pengembangan *handout* penerapan bioteknologi dalam bidang peternakan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Maret – Mei 2015 di Laboratorium Alam Program Studi Pendidikan Biologi FKIP Universitas Riau. Penelitian ini terdiri dari 2 tahap yaitu tahap pembuatan biogas dan tahap pengembangan *handout*. Tahap pembuatan biogas dilakukan dengan penelitian eksperimental menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL), terdiri dari 4 perlakuan dan 3 ulangan sehingga diperoleh 12 rancangan percobaan. Jika terdapat perbedaan antar perlakuan maka dilakukan uji lanjut *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) pada taraf 5%.

Parameter penelitian ini yaitu volume biogas, pH, suhu dan nyala api. Data yang diperoleh merupakan data secara langsung dengan melakukan pengukuran volume balon yang diasumsikan sebagai volume biogas, pH, suhu dan nyala api yang dihasilkan. Parameter penelitian disajikan dalam bentuk tabel, grafik dan dianalisis secara deskriptif. Hasil penelitian tersebut diintegrasikan sebagai pengembangan *handout* yang disesuaikan dengan Kompetensi Inti dan Kompetensi Dasar pada konsep Bioteknologi materi penerapan bioteknologi dalam bidang peternakan. Pengembangan *handout* menggunakan model ADDIE (*Analysis, Design, Development, Implementation dan Evaluation*), namun pada penelitian ini tahap *Implementation* dan *Evaluation* tidak dilakukan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan diperoleh hasil pengukuran volume biogas, pH, suhu dan nyala api. Hasil pengukuran volume biogas dapat dilihat pada Gambar. 1 berikut.

Tabel 1. Rata-rata volume biogas dari sampah organik yang ditambahkan tingkatan cairan isi rumen sapi

Perlakuan	Volume biogas (cm ³)
R0	8,47 a
R1	373,59 b
R2	322,50 b
R3	447,68 b

Huruf yang tidak sama pada kolom menunjukkan hasil berbeda nyata menurut uji DMRT pada taraf 5%

Berdasarkan hasil uji DMRT taraf 5% pada Tabel. 1 di atas dapat dilihat bahwa perlakuan dengan penambahan cairan isi rumen sapi (R1,R2,R3) berbeda nyata dengan control (R0). Pada Tabel di atas dapat dilihat bahwa penambahan cairan isi rumen sapi sebanyak 250 ml (R3) menghasilkan volume biogas yang paling tinggi dengan rata-rata

447,68 cm³, sedangkan tanpa penambahan cairan isi rumen sapi menghasilkan volume biogas terendah yaitu 8,47 cm³. Hal ini disebabkan karena cairan isi rumen sapi memiliki bakteri penghasil biogas yang aktif sehingga menambahkan populasi bakteri dalam fermentor. Cairan isi rumen memiliki bakteri selulolitik penghasil gas metana sehingga dapat meningkatkan efisiensi produksi biogas yang dihasilkan dan mempercepat terbentuknya biogas. Bakteri selulolitik dalam rumen berperan dalam biodegradasi hijauan pakan yang kaya selulosa dan karbohidrat kompleks lainnya. Volume biogas yang dihasilkan semakin meningkat erat kaitannya dengan ketersediaan bahan organik yang mudah dicerna dan kondisi bakteri yang sudah beradaptasi dengan lingkungan digester. Gas metana dalam biogas dihasilkan dari asam organik (asetogenesis). Penambahan cairan isi rumen sapi dapat mempercepat proses asetogenesis. Hal tersebut dinyatakan juga oleh Susilowati (2009), penambahan cairan rumen dapat mempersingkat waktu penguraian yaitu hidrolisis dan asetogenesis sebagai persiapan pembentukan gas metan atau metanogenesis. Cairan rumen dapat mendukung pertumbuhan bakteri metanogenik antara lain genus *Metanobacterium*, *Metanosarcina* dan *Metanospirillum* (Yazid dan Bastianudin, 2011).

Penambahan cairan isi rumen sapi sebanyak 150 ml (R1), 200 ml (R2) dan 250 ml (R3) menunjukkan hasil tidak berbeda nyata. Hal ini dikarenakan pemberian cairan isi rumen sapi dengan jarak 50 ml tidak terlalu mempengaruhi jumlah pertumbuhan biogas setiap perlakuannya. Hal ini juga dibuktikan oleh Sri (2014) yang menyatakan bahwa penambahan cairan isi rumen sapi tidak menunjukkan hasil yang signifikan setiap harinya. Pada perlakuan kontrol, tanpa penambahan cairan isi rumen sapi (R0) volume biogas yang dihasilkan sebanyak 8,47 cm³, volume biogas ini merupakan volume biogas yang paling rendah jika dibandingkan dengan volume biogas yang diberi penambahan cairan isi rumen sapi lainnya yang secara berturut-turut menghasilkan volume biogas sebanyak 373,59 cm³ dan 322,50 cm³. Hal ini dikarenakan pada sampah organik memiliki bakteri penghasil biogas dalam jumlah yang sangat sedikit, sehingga biogas yang dihasilkan sangat sedikit.

Selain bakteri, protozoa juga berperan dalam pembuatan biogas. Seperti halnya bakteri, protozoa juga mampu memfermentasikan hampir seluruh komponen yang terdapat di dalam rumen sapi. Protozoa berperan sebagai sumber protein dan mempertahankan pH. Apabila pH tinggi (asam) maka protozoa tidak dapat mempertahankan diri sehingga protozoa menelan bakteri untuk mempertahankan pH agar tidak terlalu asam. Bakteri yang ditelan protozoa akan menghasilkan asam lemak sehingga dapat digunakan bakteri lain untuk menghasilkan biogas. Menurut Endang (2014) protozoa pada cairan isi rumen sapi jawa lebih rendah dibandingkan dengan sapi peranakan ongole. Jumlah protozoa di dalam rumen tergantung pada pakan yang dikonsumsi oleh sapi, pada sapi muda biasanya protozoa belum ada, kecuali sapi tersebut telah kontak dengan sapi yang mengandung banyak protozoa.

Penambahan cairan isi rumen sapi pada substrat mempengaruhi nilai pH bahan isian. Hal ini dapat dilihat pada Tabel. 2.

Tabel 2. Hasil pengukuran rata-rata pH dari sampah organik yang ditambahkan tingkatan cairan isi rumen sapi

Perlakuan	pH	
	Awal	Akhir
R0	6	5.66
R1	6.67	6.33
R2	7	6
R3	7	6

Berdasarkan tabel di atas dapat dijelaskan bahwa terjadinya penurunan pH di akhir pengamatan. Nilai pH terendah 5,66 terdapat pada digester kontrol dan nilai pH tertinggi 6 terdapat pada digester dengan penambahan cairan isi rumen sapi sebanyak 200 ml (R2) dan 250 ml (R3). Hal ini dikarenakan banyaknya bakteri asam yang terbentuk menggambarkan terjadinya proses hidrolisis dan asetogenesis yang dilakukan bakteri dalam memproduksi gas metana. Hidrolisis merupakan tahap awal dalam fermentasi pembuatan biogas yang menguraikan bahan polimer menjadi monomer sehingga terbentuk asam asetat sedangkan asetogenesis yang merupakan proses pengasaman untuk membentuk asam asetat sehingga menyebabkan pH menjadi rendah. Sementara kemungkinan keberadaan bakteri metanogenik untuk mengkomsumsi asam kurang memadai, sehingga tidak mampu mempertahankan dan mencapai pH netral. Aktifitas enzimatik bakteri penghasil asam terjadi pada pH >5 dan aktifitas enzimatik bakteri penghasil gas metana tidak dapat tumbuh pada pH <6,5. Karena apabila pH terlalu asam maka laju pertumbuhan bakteri metanogenik lebih lambat dibandingkan laju pertumbuhan bakteri asam dan pada akhirnya bakteri akan mati.

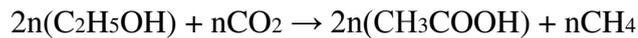
Menurut Gallert dan winter dalam Kuntty (2012) penurunan pH setelah hari ke-0 yang menggambarkan terbentuknya tahap fermentasi/asidogenesis yang menyebabkan pH lingkungan menjadi rendah. Proses anaerob yang terjadi pada digester kontrol dan perlakuan sepenuhnya berada dalam kondisi asam. Menurut Siregar (2011) hal ini sulit dihindari karena laju reaksi yang melibatkan bakteri pembentuk asam lebih tinggi (cepat) dibandingkan laju reaksi yang melibatkan bakteri metanogenik. Hal tersebut juga dijelaskan oleh Siregar (2011) yang menyatakan apabila pH < 6,5, maka populasi metanogenik akan mulai mati dan populasi secara keseluruhan akan semakin tidak seimbang karena bakteri asam akan mendominasi.

Selain pH, suhu juga merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi produksi biogas. Bakteri penghasil biogas juga memiliki ketetapan suhu dalam pertumbuhannya. Terdapat dua rentang suhu optimum bagi bakteri metanogenik yaitu 30-35°C untuk mesofilik dan 50-60°C untuk termofilik. Sebagian besar bakteri metanogenik bersifat mesofilik dengan suhu pertumbuhan 35°C (Gerardi dalam Sri, 2014). Nilai pengukuran suhu dalam produksi biogas sebagai berikut:

Tabel 3 Hasil pengukuran rata-rata suhu dari sampah organik yang ditambahkan tingkatan cairan isi rumen sapi

Perlakuan	Suhu (°C)	
	Awal	Akhir
R0	30	35
R1	30	35.33
R2	32	35
R3	32	36

Suhu yang optimal juga menjadi syarat agar proses produksi biogas menjadi baik. Berdasarkan Tabel. 3 pada awal pembuatan tiap perlakuan mempunyai suhu yang sama, sedangkan setelah fermentasi terjadi peningkatan suhu tiap perlakuannya yaitu mencapai 35-36°C. Meningkatnya suhu menandakan terjadinya proses dekomposisi bahan organik. Menurut I Putu (2012) penguraian bahan organik juga menghasilkan bahan sampingan seperti kalor (panas). Panas dihasilkan ketika proses asetogenesis berlangsung, dengan persamaan sebagai berikut:



Selama proses fermentasi, suhu merupakan faktor yang penting karena hal ini berkaitan dengan kemampuan hidup bakteri pemroses biogas. Apabila suhu terlalu rendah maka waktu yang dibutuhkan bakteri untuk membentuk biogas akan lama, namun apabila suhu terlalu tinggi maka bakteri akan mati sehingga biogas yang dihasilkan sangat sedikit. Hal tersebut juga dijelaskan oleh Lazuardi dan Yenni (2012) temperatur atau suhu yang baik untuk proses pembentukan biogas berada dalam kisaran 20-40°C. Kisaran suhu ini merupakan suhu yang baik untuk menghasilkan biogas. Biogas dapat dijadikan sebagai bahan bakar karena mempunyai nilai panas yang tinggi yaitu berkisar antara 5000 – 6513 kkal/m³.

Selanjutnya uji nyala api digunakan untuk membuktikan apakah biogas yang dihasilkan mengandung gas metana. Berdasarkan hasil pengamatan setiap perlakuan dengan penambahan cairan isi rumen sapi menunjukkan hasil positif mengandung gas metana terbukti dari nyala api yang dihasilkan berwarna biru, namun pada kontrol yang tanpa diberi penambahan cairan isi rumen sapi nyala api yang dihasilkan berwarna merah.

Hal ini dikarenakan pada kontrol, gas metana yang dihasilkan sangat sedikit dan pada perlakuan yang diberi penambahan cairan isi rumen sapi mengandung banyak gas metana. Hal tersebut juga sesuai dengan penelitian Harahap (2007) dalam Mujahidah (2013), menyatakan bahwa adanya gas metan ditandai dengan warna biru dalam nyala api. Gas metana (CH₄) adalah komponen penting dan utama karena memiliki kadar kalor yang cukup tinggi, dan jika gas yang dihasilkan dari proses anaerob ini dapat terbakar, kemungkinan mengandung 45% gas metana.

Hasil uji nyala api pada perlakuan dengan penambahan cairan isi rumen sapi tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Nyala api yang dihasilkan pada perlakuan R1, R2, dan R3 tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan, hanya saja waktu uji nyala gas yang berbeda, hal ini disebabkan oleh jumlah biogas yang dihasilkan tidaklah sama. Hal tersebut dikarenakan fermentor dioperasikan secara *batch* sehingga uji nyala dilakukan pada hari akhir pengamatan.

Hasil penelitian ini dikembangkan menjadi handout pada konsep Bioteknologi khususnya penerapan bioteknologi dalam bidang peternakan. Pengembangan handout dari hasil penelitian mengacu pada tahapan pengembangan ADDIE yang terdiri dari lima tahapan yaitu *Analyze, Design, Development, Implementation dan Evaluation*. Untuk tahap *Implementation dan Evaluation* tidak dilaksanakan pada penelitian ini. Pembahasan pada setiap tahapan ADDIE yang telah dilakukan peneliti dapat dilihat di bawah ini:

Analysis

Tahap analisis (*analyze*) merupakan suatu tahapan untuk mendefinisikan sesuai yang ada di kurikulum. Langkah awal yang dilakukan pada tahap ini adalah analisis silabus untuk mengetahui tuntutan pembelajaran secara nasional yang harus dipelajari peserta didik. Khususnya dilakukan analisis pada KD 3.10 materi bioteknologi yang terdiri dari empat pertemuan namun dalam pengembangan *handout* ini hanya pada pertemuan 3.

Design

Tahap desain (*design*) merupakan tahap lanjut yang dilakukan peneliti setelah tahap analisis. Pada tahap ini dimulai dari merekonstruksi silabus yang dikeluarkan oleh Kemdikbud. Silabus adalah acuan awal yang digunakan guru dalam menyusun perangkat pembelajaran. Beberapa aspek yang diperbaiki dari silabus tersebut adalah penilaian, alokasi waktu dan sumber belajar. Selanjutnya perancangan RPP yang akan digunakan dengan mengacu pada Permendikbud No. 104. 2014. Melalui RPP yang telah dirancang dapat dirancang materi pokok, indikator dan indikator pencapaian kompetensi serta merancang *handout* yang akan dikembangkan. *Handout* yang dikembangkan sesuai dengan materi dan indikator pencapaian kompetensi yang ada di RPP pada pertemuan ke-3.

Setelah selesai merancang semua perangkat yang menunjang kegiatan proses pembelajaran, peneliti selanjutnya merancang lembar validasi untuk *handout*. Lembar validasi *handout* diisi oleh 3 validator yang terdiri dari 1 orang dosen ahli materi, 1 orang dosen ahli desain dan 1 orang dosen ahli pendidikan. Lembar validasi terdiri dari dua bagian, pada bagian pertama untuk penilaian *handout* dari aspek tampilan, aspek isi, aspek bahasa dan aspek kesesuaian. Sedangkan pada bagian ke dua untuk penilaian secara umum.

Development

Pada tahap pengembangan ini dilakukan peneliti adalah mengembangkan *handout* sesuai dengan rancangan yang telah dibuat. *Handout* ini dikembangkan untuk membantu siswa dalam proses pembelajaran untuk memahami konsep penerapan bioteknologi dalam bidang peternakan. Selama proses pembuatan *handout* telah dilakukan revisi sesuai dengan saran validator untuk menghasilkan *handout* yang bagus.

Untuk menilai kevalidan dan kelayan dari *handout* yang telah dikembangkan maka dilakukan validitas *handout* oleh 3 orang dosen. 1 orang dosen ahli materi, 1 orang dosen ahli pendidikan dan 1 orang dosen ahli design. Penilaian validasi LKM yang telah dikembangkan dapat dilihat pada Tabel.4 berikut ini.

Tabel. 4 Nilai rata-rata hasil validasi *handout*

Kriteria Penilaian	Rerata Penilaian			Rerata
	Validator 1 (ahli materi)	Validator 2 (ahli pendidikan)	validator 3 (ahli design)	
Aspek Tampilan	3,3	3	3,7	3,33
Aspek Isi	3,3	3,3	3,7	3,43
Aspek Kepraktisan	3	3,5	3	3,17

Aspek Bahasa	3	3	3	3
Aspek Kesesuaian	3,5	4	4	3,83
Rerata	3,22	3.36	3,48	3.35 (sangat valid)

Berdasarkan tabel di atas Bahwa rerata dari setiap validator untuk semua kriterian penilaian *handout* yang divalidasi di atas 3 pada skala 0 – 4. Aspek yang paling rendah yaitu aspek bahasa.

Rerata penilaian aspek tampilan dari semua validator adalah 3,33 dengan keterangan sangat valid. Tampilan dalam *handout* terlihat menarik sehingga memudahkan pemahaman peserta didik serta tampilannya dapat memotivasi peserta didik. Gambar yang digunakan dalam penyajian *handout* merupakan gambar yang didapat selama penelitian.

Rerata penilaian aspek isi dari semua validator adalah 3,43 dengan keterangan sangat valid. Validator menilai *handout* ini telah sesuai dengan Kompetensi Inti, Kompetensi Dasar, indikator dan indikator pencapaian kompetensi serta membantu peserta didik untuk memahami konsep.

Rerata penilaian aspek kepraktisan dari semua validator adalah 3,17 dengan keterangan valid. Validator menilai *handout* ini dapat membantu peserta didik belajar mandiri dalam proses pembelajaran serta memungkinkan peserta didik terlibat secara aktif dalam menemukan konsep dan fakta-fakta yang ada.

Rerata penilaian aspek bahasa adalah 3 dengan keterangan valid. *Handout* ini dinilai telah sesuai dengan kaidah Bahasa Indonesia dan mudah dipahami dan sesuai dengan kemampuan intelektual peserta didik.

Rerata penilaian aspek kesesuaian adalah 3,83 dengan keterangan sangat valid. *Handout* ini dinilai telah sesuai dengan indikator pencapaian kompetensi. Selain itu penggunaan gambar dalam *handout* dinilai telah sesuai dengan materi yang disajikan.

Rerata keseluruhan dari ketiga validator adalah 3,35 dengan keterangan sangat valid. Untuk meningkatkan validitas dari pengembangan *handout* ini, peneliti melakukan revisi sesuai dengan saran dari semua validator, sehingga *handout* yang telah dikembangkan dapat digunakan dalam proses pembelajaran Biologi khususnya pada materi pembuatan biogas.

SIMPULAN DAN REKOMENDASI

Berdasarkan penelitian dapat disimpulkan bahwa penambahan cairan isi rumen sapi pada sampah organik efektif terhadap produksi biogas. Substrat yang diberi penambahan cairan isi rumen sapi sudah mampu menghasilkan biogas sejak hari pertama. Volume biogas tertinggi diperoleh dari Perlakuan ke-3 (R3) yaitu dengan rerata 667,47 cm³ pada hari ke enam. Semakin banyak jumlah cairan isi rumen sapi yang ditambahkan, maka akan semakin banyak biogas yang diproduksi. Hasil penelitian dapat dikembangkan sebagai *handout* bagi peserta didik di SMA kelas XII dalam mempelajari penerapan bioteknologi dalam bidang peternakan.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, perlu dilakukan penelitian yang mengukur kadar gas metana, kadar asam volatil yang dihasilkan pada pembuatan biogas, menggunakan fermentor dalam skala yang lebih besar dan perlu pertimbangan

waktu untuk siswa dapat melakukan praktikum pembuatan biogas diluar jam pelajaran biologi serta melakukan uji coba terbatas pada *handout* yang dikembangkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Arsul Ihsan, Syaiful Bahri dan Musafira. 2013. Produksi Biogas Menggunakan Cairan Isi Rumen Sapi Dengan Limbah Cair Tempe. *Jurnal Natural Science*. 2 (2): 27-35.
- Endang P, Edi R, Wayan S.D, Christina M.S.L, Retno A. 2014. Karakteristik Cairan Rumen, Jenis dan Jumlah Mikrobial dalam Rumen Sapi Jawa dan Peranakan Ongole. *Buletin Peternakan*, 38(1):21-26.
- I Putu A.W, I Gusti K.S, I Gusti N.P.I. 2012. Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Bahan Kering Terhadap Produksi dan Nilai Kalor Biogas Kotoran Sapi. *Jurnal Energi dan Manufaktur*, 5(1):1-97.
- Kunty Novi Gamayanti, Ambar P dan Lies Mira Y. 2012. Pengaruh Penggunaan Limbah Cairan Dan Lumpur Gambut Sebagai Starter Dalam Proses Fermentasi Metanogenik. *Buletin Peternakan*. 36(1): 32-39.
- Mujahidah, Mappiratu, dan R. Sikanna. 2013. Kajian teknologi produksi biogas dari sampah basah rumah tangga. *Jurnal of Natural Science*. 2(1): 25-34
- M. Yazid, Aris Bastianudin. 2011. Seleksi Mikroba Metanogenik Menggunakan Irradiasi Gamma Untuk Peningkatan Efisiensi Proses Mencerna Anaerob Pembentukan Biogas. *J. Iptek Nuklir Ganendra*. 14(1):47-55.
- Siregar, R. T. 2004. Uji Frekuensi Pengadukan dan Konsentrasi Kotoran Kuda Terhadap Produksi Biogas. *Skripsi*. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Susilowati, Endang. 2009. Uji Potensi Pemanfaatan Cairan Rumen Sapi untuk Meningkatkan Kecepatan Produksi Biogas dan Konsentrasi Gas Metan dalam Biogas. *Tesis*. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada.
- Sri Suciati Ningsih. 2014. *Pengaruh Penambahan Beberapa Cairan Rumen Terhadap Produksi Biogas dari Kotoran Sapi*. Skripsi tidak dipublikasikan. Program Studi Jurusan Biologi FMIPA UNP. Padang.
- Yenni, Yommi Dewilda dan Serly Mutia Sari. 2012. Uji Pembentukan Biogas Dari Substrat Sampah Sayur dan Buah Dengan Ko-Substrat Limbah Isi Rumen Sapi. *Jurnal Teknik Lingkungan UNAND*, 9 (1): 26-36.