

**ENRICHMENT SMK AGRICULTURAL BIOLOGY MODULE  
CONCEPT OF WASTE MANAGEMENT THE USE OF ORGANIC  
WASTE WITH STARTER FLUID COW RUMEN  
FOR RAW MATERIALS MAKING BIOGAS**

**Edri Yandi\*, Sri Wulandari, Imam Mahadi**

e-mail: [edriyandi29@yahoo.co.id](mailto:edriyandi29@yahoo.co.id), [wulandari\\_sri67@yahoo.com](mailto:wulandari_sri67@yahoo.com), [i\\_mahadi@yahoo.com](mailto:i_mahadi@yahoo.com)  
phone: +6282387655511

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

***Abstract:** The research was to determine utilization of organic waste with starter fluid cow rumen raw material for biogas production in March and May 2015. Results of the study are used to enrich the teaching materials in the form of biology modules vocational school Agriculture on the concept of waste management. This research was carried out by two phases: experimentation and enrichment modules. Research conducted experiments using completely randomized design (CRD) non factorial, which consists of 4 treatments and 3 replicates in order to obtain 12 experimental design. If there is a real test there will be a further test Duncans Multiple Range Test (DMRT) at 5%. The parameters observed biogas volume, the color of the flame, calor and power. Enrichment module is performed on the stage of analysis and design. The results showed that the use of organic waste with starter fluid cow rumen could potentially produce methane gas as a source of biogas. Treatment A (25% substrate: 75% starter) are best produce biogas with a biogas volume of 11.57 L, color blue flames, calorific value 5670 J and power 132.98 watts for 28 days of fermentation. The results could be used as an module enrichment for biological subjects Agriculture vocational school on the concept of waste management.*

***Keywords:** Module, Organic Waste, Fluid Cow Rumen, Biogas.*

**PENGAYAAN MODUL BIOLOGI SMK PERTANIAN KONSEP  
PENGELOLAAN LIMBAH PENGGUNAAN SAMPAH ORGANIK  
DENGAN STARTER CAIRAN ISI RUMEN SAPI  
UNTUK BAHAN BAKU PEMBUATAN BIOGAS**

**Edri Yandi\*, Sri Wulandari, Imam Mahadi**

e-mail: [edriyandi29@yahoo.co.id](mailto:edriyandi29@yahoo.co.id), [wulandari\\_sri67@yahoo.com](mailto:wulandari_sri67@yahoo.com), [i\\_mahadi@yahoo.com](mailto:i_mahadi@yahoo.com)  
phone: +6282387655511

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

**Abstrak:** Dilakukan penelitian untuk mengetahui pemanfaatan sampah organik dengan starter cairan isi rumen sapi untuk bahan baku pembuatan biogas pada bulan Maret hingga bulan Mei 2015. Hasil penelitian digunakan untuk memperkaya bahan ajar dalam bentuk modul biologi SMK Pertanian konsep pengelolaan limbah. Penelitian ini dilaksanakan dengan 2 tahap yaitu eksperimen dan pengayaan modul. Penelitian eksperimen dilakukan dengan menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) non faktorial, yang terdiri dari 4 perlakuan dan 3 kali ulangan sehingga diperoleh 12 rancangan percobaan. Jika terdapat uji nyata maka akan dilakukan uji lanjut *Duncans Multiple Range Test* (DMRT) pada taraf 5%. Parameter yang diamati meliputi volume biogas, warna nyala api, kalor dan daya. Pengayaan modul dilakukan pada tahap *analysis dan design*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan sampah organik dengan starter cairan isi rumen sapi berpotensi menghasilkan gas metan sebagai sumber biogas. Perlakuan A (25% substrat : 75% starter) paling baik menghasilkan biogas dengan volume biogas sebesar 11,57 L, warna nyala api biru, nilai kalor 5670 J dan daya 132,98 watt selama 28 hari fermentasi. Hasil penelitian ini dapat dimanfaatkan sebagai pengayaan modul untuk mata pelajaran biologi SMK Pertanian pada konsep pengelolaan limbah.

**Kata kunci:** Modul, Sampah Organik, Cairan Isi Rumen Sapi, Biogas.

## PENDAHULUAN

Biogas merupakan gas yang mudah terbakar (*flamable*) yang dihasilkan dari proses fermentasi bahan-bahan organik oleh bakteri anaerob yang berasal dari limbah kotoran hewan (Edy Hendras Wahyono, dkk., 2012). Salah satu sampah organik yang dapat dimanfaatkan menjadi biogas yaitu sampah sayur-sayuran dan buah-buahan, sedangkan sumber bakteri anaerob yang digunakan dapat berasal dari isi rumen sapi.

Isi rumen sapi merupakan salah satu limbah terbesar yang dihasilkan dari suatu pemotongan hewan, berupa rumput yang belum terfermentasi dan tercerna sepenuhnya oleh hewan (Nengsih, 2002). Di dalam isi rumen sapi terkandung kelompok bakteri metan yaitu *Methanosarcina sp* yang berperan dalam proses pembentukan biogas (Fithry dalam Yenni, dkk., 2012). Selain isi rumen, cairan isi rumen sapi dapat juga digunakan sebagai starter dalam pembuatan biogas. Menurut Susilowati (2009), cairan rumen sapi dari limbah rumah potong hewan dapat dimanfaatkan sebagai biostarter untuk mempercepat proses fermentasi dan dapat meningkatkan produksi gas metan dalam biogas.

Sampah organik yang digunakan sebagai bahan baku dalam pembuatan biogas sangat mudah ditemukan di Pasar dan Rumah Pemotongan Hewan (RPH). Selama ini penanganan sampah pasar hanya dikumpulkan untuk dibakar dan ditimbun di Tempat Pembuangan Akhir (TPA), sedangkan limbah hasil pemotongan hewan seperti isi rumen tidak dimanfaatkan dan biasanya ditumpuk atau langsung dibuang ke badan air. Apabila hal tersebut berlangsung lama, maka dapat menimbulkan pencemaran lingkungan (Irawan, 2009).

Pemanfaatan sampah organik menjadi biogas dapat memberikan keuntungan utama berupa sumber energi yang bersifat *renewable* (bisa diperbaharui) (Zulfarina, dkk., 2007). Selain menghasilkan energi juga dapat mengurangi jumlah sampah organik yang diangkut ke TPA dan dapat mengurangi emisi gas metan sekaligus mengurangi resiko pemanasan global. Selain itu, cairan dalam isian yang telah mengalami proses fermentasi, berguna untuk pupuk tanaman yang mana sama baiknya jika dalam bentuk padat (E. Gumbira Sa'id, 1987).

Salah satu mata pelajaran di Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) adalah Biologi. Pada kelas XI KD 3.1 terdapat pembahasan tentang konsep pengelolaan limbah, yaitu Memahami tentang berbagai macam limbah dikaitkan dengan aktifitas (tumbuhan, hewan dan manusia) dan pengelolaannya. Untuk mencapai konsep tersebut perlu didukung oleh bahan ajar yang relevan. Salah satu bentuk bahan ajar yang sesuai adalah modul. Oleh karena itu diperlukan pengayaan modul pada materi pengelolaan limbah. Pengayaan modul tersebut diharapkan dapat membantu peserta didik untuk lebih memahami tentang konsep pengelolaan limbah.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Pendidikan Biologi Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Riau pada bulan Maret sampai dengan Mei 2015. Penelitian ini terdiri dari 2 tahap yaitu tahap penelitian eksperimen dan tahap pengayaan modul. 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%.

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sampah organik pasar (sawi, kol, tomat, pepaya dan pisang), air, NaOH 30% sebagai *buffer* dan cairan isi rumen sapi sebagai starter, sedangkan alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah derigen 6 liter sebagai digester, ember, selang air, keran air, tabung penampung gas, tungku, gelas besi, klem selang, hose nozzle, tapis, belender, *Thermometer* dan kertas pH universal. Rangkaian alat fermentasi biogas yang digunakan dalam penelitian ini merupakan hasil rujukan dari rancangan penelitian Shinta Elystia, dkk., (2013) dengan tipe *floating drum* sederhana.

Sampah organik yang sudah didapatkan masing-masing ditimbang sebanyak 3 kg dan isi rumen sapi sebanyak 18 kg. Selanjutnya sampah organik dicacah dan kemudian diblender dengan perbandingan sampah organik dan air yaitu (3 kg : 3 liter). Isi rumen sapi ditambahkan air sebanyak 18 liter, kemudian diperas dan disaring sehingga diperoleh cairan rumen sapi sebanyak 18 liter. Pada penelitian ini substrat dan starter yang digunakan adalah sebanyak 2/3 (4 liter) dari kapasitas digester, hal ini dilakukan agar sebagian dari kapasitas digester menjadi wadah gas yang terbentuk selama proses fermentasi sebelum dialirkan ke tabung penampung gas. Selanjutnya, cairan rumen sapi dicampur dengan sampah organik, yang terdiri dari kontrol: 4 liter substrat tanpa cairan isi rumen sapi (100% substrat), perlakuan A: 1 liter substrat : 3 liter starter (25% : 75%), B: 2 liter substrat : 2 liter starter (50% : 50%) dan C: 3 liter substrat : 1 liter starter (75% : 25%).

Parameter yang diamati adalah volume biogas, warna nyala api, kalor dan daya. Pengukuran dilakukan pada hari ke 7, 14, 21 dan 28. Pengukuran volume biogas dilakukan dengan cara mengalirkan gas yang dihasilkan ke dalam tabung pengumpul biogas, selanjutnya mengukur perubahan ketinggian tabung pengumpul biogas dari permukaan air. Volume biogas dihitung dengan menggunakan rumus volume tabung:

$$V = 1/4 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot h$$

keterangan :

V= Volume Tabung (cm)

$\pi = 3,14$

d = Diameter (cm)

h = Tinggi Tabung (cm)

(David Halliday, dkk., 1985)

Uji warna nyala api 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 lebih banyak gas-gas pengotor lainnya maka warna api yang dihasilkan adalah biru kemerah-merahan dan jika nyala api hampir tidak terlihat (tidak terbakar) menandakan bahwa kandungan metan dalam biogas yang terbentuk masih sangat sedikit (Yenny, dkk., 2012).

Uji kalor dilakukan untuk mengetahui besarnya energi panas yang dihasilkan dari suatu pembakaran biogas. Pengukuran kalor biogas dilakukan dengan cara memanaskan air sebanyak 50 mL sampai gas habis terbakar, hitung perubahan suhu air sebelum dan sesudah dipanaskan. Selanjutnya hitung kalor menggunakan rumus berikut:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

keterangan :

$Q$  = Kalor ( J )

$m$  = Massa (Kg)

$\Delta T$  = Perubahan Suhu ( °C )

$C$  = Kalor Jenis (4200 J/ Kg °C)

(David Halliday, dkk., 1985).

Pengukuran daya dilakukan untuk mengetahui besar daya yang dihasilkan biogas selama proses pembakaran, penghitungan dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut ini:

$$P = \frac{Q}{t}$$

keterangan:

$P$  = Daya ( Watt)

$Q$  = Nilai Kalor ( Joule)

$t$  = Waktu ( Detik )

(David Halliday, dkk., 1985)

Hasil penelitian ini selanjutnya dilakukan pengayaan menjadi bahan ajar berupa modul pembelajaran pada konsep Pengelolaan Limbah. Pengayaan modul mengacu pada model pengembangan ADDIE yang dikembangkan oleh *Dick and Carey* (2005) yakni *Analysis, Design, Development, Implementation and Evaluation*. Tahapan tersebut disesuaikan dengan hasil penelitian pada tugas akhir ini, sehingga pengayaan bahan ajar hanya dilakukan hingga tahap ke tiga, yaitu *Analysis, Design and Development*.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan selama empat minggu diperoleh hasil pengukuran volume biogas, warna nyala api, kalor dan daya. Hasil pengukuran volume biogas disajikan pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Rata-rata volume biogas yang dihasilkan dari campuran sampah organik dengan cairan isi rumen sapi selama empat minggu

Perlakuan	Ulangan (liter)			Rata-rata
	1	2	3	
Kontrol	5,15	5,6	5,83	5,53 <b>d</b>
A	11,26	11,77	11,67	11,57 <b>a</b>
B	9,75	10,05	10,26	10,02 <b>b</b>
C	9	9,22	8,75	8,99 <b>c</b>

Keterangan: Angka rerata yang diikuti huruf yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan Uji DMRT pada taraf 5%

Kontrol =100% substrat

A =25% substrat : 75% starter

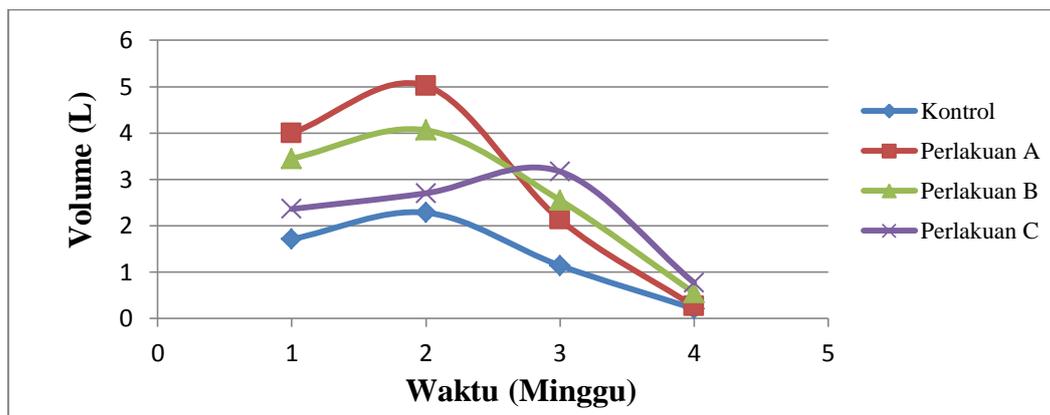
B =50% substrat : 50% starter

C =75% substrat : 25% starter

Berdasarkan hasil uji DMRT 5% pada Tabel 1 terlihat bahwa terdapat beda nyata antar perlakuan yaitu antara kontrol, perlakuan A, perlakuan B dan perlakuan C. Perbedaan hasil yang diperoleh dari penelitian ini disebabkan oleh perbedaan persentase substrat dan starter dari masing-masing perlakuan. Perbedaan jumlah cairan isi rumen sapi pada bahan isian mengakibatkan produksi biogas pada masing-masing perlakuan menghasilkan biogas yang berbeda, hal ini menunjukkan bahwa variasi bahan baku sangat mempengaruhi produktifitas bakteri dalam memproduksi biogas. Dilihat dari nilai rerata volume biogas, perlakuan yang paling baik dalam menghasilkan biogas adalah perlakuan A yaitu 11,57 Liter karena biogas yang dihasilkan lebih banyak daripada perlakuan B, C dan kontrol. Menurut Ari Rahmat Mustakim (2013), biogas yang baik dapat dilihat dari besarnya volume biogas yang dihasilkan.

Perlakuan A memiliki kandungan cairan isi rumen sapi lebih banyak daripada perlakuan B dan C, sedangkan perlakuan kontrol tidak ditambahkan cairan isi rumen sapi. Cairan isi rumen sapi merupakan sumber dari bakteri methanogenik, sehingga dengan banyaknya bakteri methanogenik akan mempercepat proses penguraian substrat menjadi gas metan. Menurut Susilowati (2009), cairan rumen sapi dapat mempercepat proses fermentasi kotoran dan meningkatkan produksi gas metan dalam biogas. Menurut E. Gumbira Sa'id (1987), sebagian besar gas metan terbentuk dari penguraian asam asetat oleh bakteri metanogenik dan sisanya terbentuk dari asam format, CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>.

Perbedaan rata-rata volume biogas perminggu dari perlakuan kontrol, A, B dan C dapat dilihat pada Gambar 1 berikut:



Gambar 1. Grafik rerata volume biogas perminggu yang dihasilkan dari campuran sampah organik dengan cairan isi rumen sapi

Berdasarkan Gambar 1 di atas terlihat bahwa pada minggu pertama perlakuan yang paling banyak menghasilkan biogas adalah perlakuan A: 4 liter, selanjutnya perlakuan B: 3,45 liter, perlakuan C: 2,36 liter dan perlakuan kontrol yaitu 1,71 liter. Pada minggu pertama, proses fermentasi belum berlangsung optimal, diduga pada tahap ini bakteri baru memasuki fase *lag* atau adaptasi sehingga proses penguraian bahan organik menjadi gas metan berlangsung lambat. Menurut Ahmad (1993), pada fase lag pertumbuhan bakteri relatif sedikit karena sel masih dalam tahap penyesuaian diri dengan media fermentasi.

Pada minggu kedua, volume biogas yang dihasilkan menunjukkan peningkatan yang cukup besar dari setiap perlakuan. Perlakuan A: 5,02 liter, perlakuan B: 4,06 liter, perlakuan C: 2,7 liter dan kontrol: 2,28 liter. Hal ini diduga terjadi karena bakteri berada

pada fase *eksponansial* (fase cepat), dimana bakteri telah menyesuaikan diri dengan media (substrat) fermentasi, sehingga proses penguraian bahan organik menjadi biogas berlangsung lebih cepat. Hasil ini didukung oleh hasil penelitian sebelumnya yaitu I Made Mara, dkk., (2011), telah melakukan penelitian pembuatan biogas dari kotoran ternak, mendapatkan produksi biogas terbaik pada minggu kedua yaitu sebesar 37,087 liter.

Pada minggu ketiga produksi biogas mengalami penurunan dari masing-masing perlakuan. Perlakuan A: 2,13 liter, perlakuan B: 2,55 liter, perlakuan C: 3,17 liter dan kontrol: 1,14 liter. Penurunan ini terjadi karena jumlah bahan organik sudah mulai berkurang dan bakteri memasuki fase *stasioner*, dimana pada fase ini pertumbuhan bakteri mencapai keadaan maksimum dan bakteri yang aktif dan mati relatif seimbang, terbukti yang mengalami peningkatan produksi biogas terjadi pada perlakuan C, hal ini karena perbandingan substrat lebih besar daripada cairan isi rumen sapi (75% : 25%).

Pada minggu keempat produksi biogas terus mengalami penurunan, perlakuan A: 0,26 liter, perlakuan B: 0,55 liter, perlakuan C: 0,77 liter dan kontrol: 0,21 liter. Hal ini terjadi karena sebagian atau bahkan keseluruhan substrat telah terfermentasi sehingga menyebabkan mikroba yang mati semakin banyak dan melebihi mikroba yang berkembang biak. Menurut Wahyu Amy Ishartanto (dalam Titis Maria Yusuf, 2014), penurunan jumlah bakteri dapat disebabkan oleh penurunan jumlah bahan organik yang ada.

Penurunan volume biogas selain disebabkan oleh berkurangnya jumlah bahan organik, juga dipengaruhi oleh pH dan suhu. Menurut H.R. Sudradjat (2007), bakteri metanogenik tidak dapat bertahan hidup diluar rentang pH 6,2-7,8. Potensial Hidrogen (pH) memegang peranan yang sangat penting dalam menentukan laju penguraian bahan organik. Oleh karena itu, untuk mengkondisikan pH supaya berada pada rentang 6,2-7,8, maka ditambahkan larutan NaOH 30% sebagai *buffer*. Pada umumnya bakteri metanogenik kurang aktif diluar rentang suhu 25-40°C, namun pada penelitian ini tidak dilakukan pemanasan digester ataupun pengkondisian suhu, karena berdasarkan pantauan suhu dari BMKG (2015), suhu Kota Pekanbaru berada pada kisaran 22-35°C. Dimana suhu tersebut masih termasuk rentang suhu yang optimum bagi pertumbuhan bakteri metanogenik. Menurut H.R. Sudradjat (2007), rentang suhu yang optimum bagi pertumbuhan bakteri yaitu 25-40°C. Pengukuran pH dan suhu dilakukan pada awal dan akhir penelitian, hasil pengukuran pH dan suhu dapat dilihat pada Tabel 2 berikut:

Tabel 2. Pengukuran pH dan suhu pada pembentukan biogas dari campuran sampah organik dengan cairan isi rumen sapi

Perlakuan	Parameter			
	pH		Suhu (C <sup>0</sup> )	
	Awal	Akhir	Awal	Akhir
Kontrol	7	4	30	29
A	7	6,7	30	29
B	7	6,3	31	28
C	7	5,7	30	29

Ket: Kontrol = 100% substrat  
 A = 25% substrat : 75% starter  
 B = 50% substrat : 50% starter  
 C = 75% substrat : 25% starter

Berdasarkan Tabel 2 di atas terlihat bahwa semua perlakuan mengalami penurunan nilai pH dan suhu pada akhir proses pembentukan biogas. Penurunan pH pada perlakuan kontrol lebih cepat daripada perlakuan lainnya. Hal ini terjadi karena pada perlakuan kontrol tidak ditambahkan cairan isi rumen sapi, sehingga jumlah bakteri asam organik lebih banyak daripada bakteri metanogenik. Menurut H.R. Sudradjat (2007), jika bakteri penghasil asam organik lebih banyak dibandingkan dengan bakteri penghasil gas metan, maka banyak asam organik yang tidak dikonversikan menjadi gas metan, sehingga pH menurun.

Dilihat dari tabel 4.1 bahwa terjadi penurunan suhu pada akhir proses fermentasi. Penurunan ini disebabkan oleh berkurangnya aktivitas bakteri dalam melakukan perombakan substrat menjadi biogas, selain itu juga dipengaruhi oleh temperatur Kota Pekanbaru yang selalu berubah-ubah, 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. Menurut Sardjoko (1991) suhu optimum untuk pertumbuhan bakteri mesofilik berada pada rentang 25-40°C.

Hasil pengamatan uji warna nyala api biogas yang dihasilkan perminggu dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Uji warna nyala api biogas yang dihasilkan perminggu dari campuran sampah organik dengan starter cairan isi rumen sapi

Minggu	Perlakuan			
	Kontrol	A	B	C
1	Biru Kemerahan	Biru	Biru kemerahan	Biru Kemerahan
2	Biru Kemerahan	Biru	Biru	Biru
3	Biru Kemerahan	Biru	Biru	Biru Kemerahan
4	Tidak Terbakar	Tidak Terbakar	Biru Kemerahan	Biru Kemerahan

Ket: Kontrol = 100% substrat  
 A = 25% substrat : 75% starter  
 B = 50% substrat : 50% starter  
 C = 75% substrat : 25% starter

Berdasarkan Tabel 3 menunjukkan bahwa gas yang dihasilkan pada minggu pertama sudah bisa terbakar dan menghasilkan warna nyala api yang berbeda dari setiap perlakuan. Perlakuan kontrol dari minggu pertama sampai minggu ketiga warna nyala api biru kemerahan. Perlakuan A dari minggu pertama sampai dengan minggu ketiga warna nyala api biru. Perlakuan B, minggu pertama dan minggu keempat berwarna biru kemerahan sedangkan pada minggu kedua dan ketiga warna nyala api biru. Perlakuan C pada minggu pertama, ketiga dan keempat warna nyala api biru kemerahan sedangkan pada minggu kedua berwarna biru.

Perlakuan yang memiliki kualitas biogas paling baik dari keempat perlakuan tersebut adalah perlakuan A karena warna nyala api dari minggu pertama sampai minggu ketiga berwarna biru. Menurut Ari Rahmat Mustakim (2013), Warna nyala api ditentukan oleh jumlah gas metan dan gas pengotor yang terdapat di dalam gas tersebut. Jika biogas tidak dan sedikit mengandung gas pengotor maka api yang dihasilkan

berwarna biru, namun sebaliknya jika banyak mengandung gas pengotor maka warna nyala api yang dihasilkan biru kemerahan. Menurut Beni, dkk., (dalam I Made Mara, dkk., 2011). Biogas dapat terbakar apabila mengandung kadar gas metana minimal 57% dan akan menghasilkan api berwarna biru.

Hasil pengukuran nilai kalor biogas selama empat minggu dapat dilihat pada Tabel 4 berikut:

Tabel 4. Rata-rata nilai kalor biogas yang dihasilkan dari campuran sampah organik dengan cairan isi rumen sapi selama empat minggu

Perlakuan	Ulangan (J)			Rata-rata
	1	2	3	
Kontrol	1995	2415	2226	2212 <b>d</b>
A	5670	5775	5565	5670 <b>a</b>
B	4620	4893	5355	4956 <b>b</b>
C	4053	3885	3612	3850 <b>c</b>

Keterangan: Angka rerata yang diikuti huruf yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan Uji DMRT pada taraf 5%

Kontrol =100% substrat

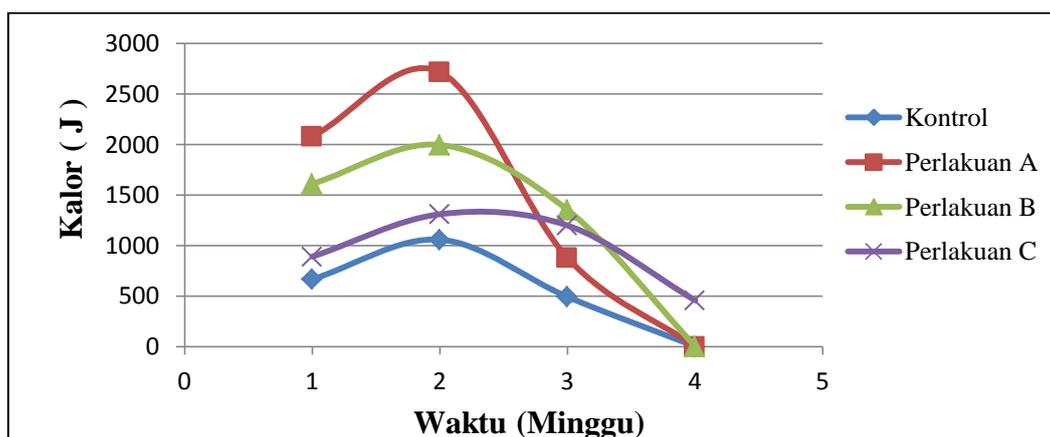
A =25% substrat : 75% starter

B =50% substrat : 50% starter

C =75% substrat : 25% starter

Berdasarkan hasil uji DMRT 5% pada Tabel 4 terlihat bahwa terdapat beda nyata antar perlakuan yaitu antara kontrol, perlakuan A, perlakuan B dan perlakuan C. Hal ini dikarenakan jumlah volume biogas dan kualitas api yang dihasilkan berbeda dari setiap perlakuan. Dilihat dari nilai rata-rata, perlakuan A menghasilkan kalor paling tinggi yaitu 5670 J sedangkan perlakuan kontrol menghasilkan kalor paling rendah yaitu 2212 J. Hal ini dikarenakan jumlah volume gas metana yang terkandung pada perlakuan A lebih tinggi daripada perlakuan yang lainnya. Menurut I Made Mara, dkk (2011), Kalor yang terkandung dalam biogas tergantung dari konsentrasi gas metana (CH<sub>4</sub>), semakin tinggi kandungan gas metana maka semakin besar kandungan energi (nilai kalor) pada biogas dan sebaliknya semakin kecil kandungan gas metana semakin kecil pula nilai kalor.

Perbedaan rata-rata nilai kalor biogas perminggu dari perlakuan kontrol, A, B dan C dapat dilihat pada Gambar 2 berikut:



Gambar 2 Grafik rata-rata nilai kalor biogas per minggu yang dihasilkan dari campuran sampah organik dengan cairan isi rumen sapi

Berdasarkan Gambar 2 terlihat bahwa pada minggu pertama, perlakuan A menghasilkan nilai kalor paling besar yaitu 2079 J, selanjutnya perlakuan B: 1610 J, perlakuan C: 889 J dan yang paling rendah pada perlakuan kontrol yaitu 665 J. Tinggi rendahnya nilai kalor pada setiap perlakuan dipengaruhi oleh volume biogas dan kualitas api yang dihasilkan, terbukti pada minggu pertama volume biogas yang paling tinggi adalah perlakuan A dan menghasilkan warna nyala api biru.

Pada minggu kedua, nilai kalor yang dihasilkan mengalami peningkatan yang cukup besar dari setiap perlakuan, perlakuan A menghasilkan kalor sebesar 2716 J, perlakuan B: 1995 J, perlakuan C: 1309 J dan kontrol 1057 J. Peningkatan nilai kalor ini seiring dengan meningkatnya volume biogas yang dihasilkan pada minggu kedua. Hal ini terjadi karena bakteri berada pada fase *eksponensial* (fase cepat), dimana bakteri telah menyesuaikan diri dengan media (substrat) fermentasi, sehingga proses penguraian bahan organik menjadi biogas berlangsung lebih cepat dan menghasilkan volume biogas yang besar.

Pada minggu ketiga, nilai kalor yang dihasilkan setiap perlakuan mengalami penurunan. Perlakuan A menghasilkan kalor sebesar 875 J, perlakuan B: 1351 J, perlakuan C: 1197 J dan kontrol 490 J. Penurunan kalor yang paling jauh terjadi pada perlakuan A, hal ini disebabkan oleh berkurangnya jumlah bahan organik pada perlakuan A, sehingga volume biogas yang dihasilkan sedikit. Nilai kalor perlakuan B lebih besar daripada perlakuan C yaitu 1351 J, jika dilihat dari volume biogas yang dihasilkan pada minggu ketiga, volume biogas perlakuan C lebih besar dari pada perlakuan B, hal ini disebabkan oleh volume gas metan yang terkandung pada perlakuan B lebih tinggi jika dibandingkan dengan perlakuan C. Hal ini terbukti dari warna nyala api yang dihasilkan perlakuan B pada minggu ketiga yaitu berwarna biru, sedangkan perlakuan C berwarna biru kemerahan. Menurut Yenni dkk (2012), warna nyala api ditentukan oleh jumlah gas metan yang terkandung dalam biogas, jika banyak mengandung gas metan maka warna nyala api yang dihasilkan biru dan jika sedikit mengandung gas metan warna nyala api biru kemerahan.

Pada minggu keempat nilai kalor yang dihasilkan hanya pada perlakuan C yaitu sebesar 455 J. Perlakuan B, gas terbakar hanya beberapa detik sehingga tidak menghasilkan nilai kalor, sedangkan pada perlakuan A dan kontrol biogas yang dihasilkan tidak bisa terbakar karena volume biogas yang dihasilkan sangat sedikit.

Pada minggu keempat terlihat nilai kalor yang dihasilkan juga semakin menurun, hal ini terjadi seiring dengan menurunnya produksi biogas, karena semakin lama waktu fermentasi maka konsentrasi substrat juga akan menurun dan pada akhirnya akan habis.

Pengukuran daya dilakukan untuk mengetahui besar daya yang dihasilkan biogas selama proses pembakaran. Rata-rata nilai daya biogas selama empat minggu dapat dilihat pada Tabel 5 berikut:

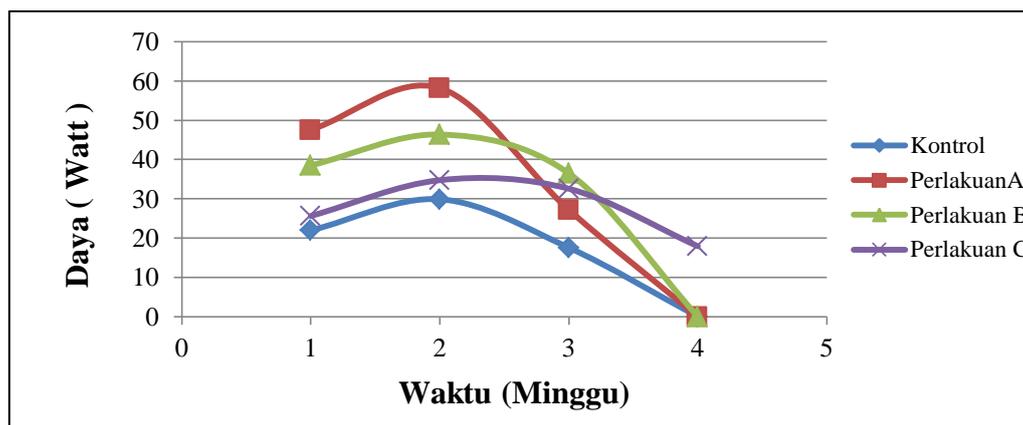
Tabel 5. Rata-rata nilai daya biogas yang dihasilkan dari campuran sampah organik dengan starter cairan isi rumen sapi selama empat minggu

Perlakuan	Ulangan (watt)			Rata-rata
	1	2	3	
Kontrol	64,9	72,23	71,13	69,42 <b>d</b>
A	134	135,68	129,26	132,98 <b>a</b>
B	116,75	119,34	128,03	121,37 <b>b</b>
C	115,91	111,8	104,94	110,88 <b>c</b>

Keterangan: Angka rerata yang diikuti huruf yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan Uji DMRT pada taraf 5%  
 Kontrol =100% substrat  
 A =25% substrat : 75% starter  
 B =50% substrat : 50% starter  
 C =75% substrat : 25% starter

Berdasarkan hasil uji DMRT 5% pada tabel 5 terlihat bahwa terdapat beda nyata antar perlakuan yaitu antara kontrol, perlakuan A, perlakuan B dan perlakuan C. Hal ini disebabkan oleh perbedaan jumlah biogas dan kalor yang dihasilkan dari setiap perlakuan. Dilihat dari nilai rata-rata, perlakuan A merupakan perlakuan yang paling baik dalam menghasilkan daya yaitu 132, 98 watt. Perbedaan daya yang dikeluarkan, disebabkan oleh perbedaan jumlah gas metan yang terkandung pada masing-masing biogas yang dihasilkan. Menurut I Made Mara, dkk., (2011), Jika biogas banyak mengandung gas metan maka daya yang dihasilkan semakin besar dan sebaliknya semakin sedikit gas metan yang terkandung di dalam biogas maka daya yang dihasilkan semakin kecil.

Perbedaan rata-rata nilai daya biogas perminggu dari perlakuan kontrol, A, B dan C dapat dilihat pada Gambar 3 berikut:



Gambar 3. Nilai rata-rata daya biogas perminggu yang dihasilkan dari campuran sampah organik dengan cairan isi rumen sapi

Berdasarkan Gambar 3 di atas terlihat bahwa pada minggu pertama perlakuan yang paling besar menghasilkan daya adalah perlakuan A yaitu 47,58 watt, berikutnya perlakuan B: 38,52 watt, perlakuan C: 25,64 watt dan yang paling kecil pada perlakuan kontrol yaitu 21,98 watt. Pada minggu ini daya biogas yang dihasilkan belum optimal, karena proses penguraian bahan organik menjadi biogas oleh bakteri metanogenik masih pada tahap adaptasi, namun pada perlakuan A proses pembentukan biogas berlangsung lebih cepat dikarenakan jumlah bakteri metanogenik lebih banyak daripada perlakuan yang lainnya, sehingga menghasilkan daya yang lebih besar.

Minggu kedua, nilai daya yang dihasilkan dari masing-masing perlakuan mengalami peningkatan yang cukup besar. Perlakuan A menghasilkan daya sebesar 58,19 watt, perlakuan B: 46,37 watt, perlakuan C: 34,75 watt dan kontrol 29,88 watt. Peningkatan daya yang dihasilkan seiring dengan banyaknya jumlah volume biogas dan kolor yang dihasilkan dari masing-masing perlakuan pada minggu kedua.

Pada minggu ketiga, nilai daya yang dihasilkan dari masing-masing perlakuan mengalami penurunan. Perlakuan A menghasilkan nilai daya sebesar 27,21 watt, perlakuan B: 36,48 watt, perlakuan C: 32,57 watt dan kontrol 17,57 watt. Penurunan ini terjadi seiring dengan menurunnya jumlah volume biogas dan kalor yang dihasilkan dari masing-masing perlakuan.

Pada minggu keempat, daya yang dihasilkan hanya pada perlakuan C yaitu sebesar 17,93 watt. Sedangkan pada perlakuan lainnya tidak menghasilkan daya. Hal ini dikarenakan volume biogas yang dihasilkan pada perlakuan A, B dan kontrol sangat sedikit, sehingga tidak menghasilkan daya.

Hasil penelitian yang didapatkan dilakukan pengayaan menjadi bahan ajar berupa modul. Pengayaan modul dari hasil penelitian mengacu pada tahapan pengembangan model ADDIE yang disederhanakan menjadi 3 tahap yaitu *analysis*, *design and development*. Tahapan-tahapan tersebut dijadikan landasan dalam merancang dan pengayaan modul.

Modul yang telah dikembangkan divalidasi oleh validator yang terdiri dari validator ahli materi dan ahli kependidikan. Validator ahli kependidikan menilai struktur modul, sebaran tingkat kognitif pada tes formatif, dan hal yang berkaitan dengan modul lainnya. Sedangkan validator ahli materi menilai kecocokan antara hasil penelitian dengan kompetensi umum, kompetensi khusus, indikator pencapaian kompetensi, dan materi yang disajikan di dalam modul. Validasi modul pengayaan ini

dilakukan oleh 3 orang dosen yang terdiri dari 1 orang dosen ahli kependidikan dan 2 orang dosen ahli materi. Penilaian hasil validasi disajikan pada Tabel 6 berikut:

Tabel 6. Rerata hasil penilaian modul Pengelolaan Limbah

Kriteria penilaian	Rerata penilaian			Rerata ketiga validator
	Validator 1 (ahli materi)	Validator 2 (ahli materi)	Validator 3 (ahli kependidikan)	
Kelayakan isi	3,7	3,1	3,6	3,46
Kebahasaan	3,5	3	3,5	3,33
Sajian	3,4	3,2	3,4	3,33
Kegrafisan	3,5	2,75	3	3,08
Rerata	3,52	3,01	3,37	3,3
Penilaian Umum	B	B	B	<b>Valid</b>

Keterangan: B = Dapat digunakan dengan sedikit revisi

Dari Tabel 6 dapat dilihat bahwa nilai rerata hasil penilaian ketiga validator dari keempat aspek penilaian berkisar antara 3,08 hingga 3,46 pada rentang 1-4. Hal ini menunjukkan bahwa hasil penilaian modul yang telah dikembangkan berada pada kategori valid. Penilaian tertinggi adalah aspek kelayakan isi yaitu 3,46 dan penilaian terendah adalah aspek kegrafisan yaitu 3,08.

Hasil penilaian modul secara umum oleh ketiga validator adalah valid dengan rerata 3,3. Berdasarkan penilaian validator ahli materi dan kependidikan menyatakan bahwa modul pengembangan ini dapat digunakan dengan sedikit revisi.

## SIMPULAN DAN REKOMENDASI

Sampah organik dengan starter cairan isi rumen sapi berpotensi menghasilkan gas metan sebagai sumber biogas. Perlakuan A (25% substrat : 75% starter) paling baik menghasilkan biogas dengan menghasilkan volume biogas sebesar 11,57 L, warna nyala api biru, nilai kalor 5670 J dan daya 132,98 watt selama 28 hari fermentasi. Hasil penelitian ini dapat dimanfaatkan sebagai pengayaan modul untuk mata pelajaran biologi SMK Pertanian pada konsep pengelolaan limbah.

Penelitian ini menghasilkan bahan ajar berupa modul pada mata pelajaran biologi SMK Pertanian. Kepada calon peneliti selanjutnya diharapkan untuk dapat melanjutkan penelitian ini pada tahap *Development, Implementasi dan Evaluasi*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, A.1993. *Teknologi Fermentasi*, Jurusan Teknik Kimia, Universitas Riau.
- Ari Rahmat Mustakim. 2013. *Uji Potensi Biogas dari Sampah Organik Sebagai Bahan Bakar Alternatif. skripsi*. Fakultas Teknik Universitas Riau. Pekanbaru.
- BMKG. 2015. <http://meteo.bmkg.go.id/prakiraan/propinsi/06>. Diakses tanggal 20 April 2015.

- David Halliday dan Robert Rsnick. 1985. *Fisika Jilid 1 Edisi 3*. Erlangga. Jakarta.
- Dick, W. and Carey, L. 2005. *The Systematic Design of Instruction*. Pearson. Boston.
- Edy Hendras Wahyono dan Nano Sudarno. 2012. *Biogas Energi Ramah Lingkungan*. Yapeka. Bogor.
- E. Gumbira Sa'id. 1987. *Bioindustri Penerapan Teknologi Fermentasi*. PT. Mediyatama Sarana Perkasa. Jakarta.
- H.R. Sudradjat. 2007. *Mengelolan Sampah Kota*. Penebar Swadaya. Jakarta.
- Irawan, D. 2009. Evaluasi Penambahan Sampah Organik Pada Isi Rumen Sapi dan Lama Hari Pengamatan Produksi Biogas. *Skripsi*, Fakultas Peternakan Universitas Andalas. Padang.
- I Made Mara dan Ida Bagus Alit. 2011. Analisa Kualitas dan Kuantitas Biogas dari Kotoran Ternak. *Jurnal 1(2)*. Jurusan Teknik Mesin Universitas Mataram.
- Nengsih. 2002. Penggunaan EM4 dan GT1000-WTA Dalam Pembuatan Pupuk Organik Cair dan Padat Dari Isi Rumen Limbah RPH. *Skripsi*, Fakultas Peternakan, Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Sardjoko. 1991. *Bioteknologi Latar Belakang dan Beberapa Penerapannya*. PT Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Shinta Elystia, Elvi Yenie, Ari Rahmat Mustakim dan Dwi Mansandi. 2013. Pemanfaatan Sampah Organik Pasar dan Kotoran Sapi Menjadi Biogas Sebagai Alternatif Energi Biomassa. *Jurnal Prosiding SNTK Topi*. Fakultas Teknik Universitas Riau. Pekanbaru.
- Susilowati, E. (2009). Uji pemanfaatan Cairan Rumen Sapi untuk Meningkatkan Kecepatan Produksi Biogas dan Konsentrasi Gas Metan dalam Biogas. *Thesis*. Universitas Gajah Mada.
- Titis Maria Yusuf. 2014. Uji Aktivitas Bakteri Rizosfer Actinomycetes dalam Mendegradasi Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit Sebagai Pengembangan Modul Konsep Pemanfaatan Mikroba Pada Mata Kuliah Mikrobiologi Dasar. *Skripsi*. Program Studi Pendidikan Biologi Universitas Riau. Pekanbaru.
- 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. Universitas Andalas. Padang.
- Zulfarina, Darmawati dan Imam M. 2007. *Modul Bioteknologi*. Cendikia Insani Pekanbaru. Pekanbaru.