

FORMULASI SUBSTRAT DASAR KOTORAN KAMBING DAN LIMBAH CAIR TEMPE DENGAN INOKULUM RUMEN SAPI UNTUK STUDI AWAL PRODUKSI BIOGAS

Dhini Arwindah¹, Umrah¹, Kasman²

¹Jurusan Biologi Fakultas MIPA, Universitas Tadulako Kampus Bumi Tadulako

²Jurusan Fisika Fakultas MIPA, Universitas Tadulako Kampus Bumi Tadulako Tondo Palu, Sulawesi Tengah 94117

Corresponding author : Umrah (umrah.mangonrang62@gmail.com)

ABSTRACT

Production of biogas using the basic substrate of tempeh's liquid waste and goat's waste with the bacteria inoculum of cow's rumen has been experimentally conducted. This study aims to produce biogas using the substrate with the bacteria inoculum of cow's rumen and know the optimal mixture ratio of the basic substrate and the inoculum. In this study, the amounts of basic substrate applied were 500 g chicken's waste and 500 mL liquid waste of tempeh. The study was designed using Complete Random Design comprising 6 treatments with 3 times repetitions, respectively. The treatments tested were P₀ (100% basic substrate), P₁ (80% basic substrate + 20% inoculum), P₂ (60% basic substrate + 40% inoculum), P₃ (40% basic substrate + 60% inoculum), P₄ (20% basic substrate + 80% inoculum), P₅ (100% inoculum). These treatments were fermented with anaerob bacteria for 10 days in the fermentor 1000 mL mounted with the biogas collecting balloon. Variables observed in this study were the measurements of biogas volume, culture medium pH, and biogas burning temperature, and the testing of biogas flame colour. Based on the observation result, three of the six examined treatments which could able to produce biogas were P₂, P₃ and P₄ with the respective volume of 160 cm³, 143 cm³, and 118 cm³. While, the measured values of culture medium pH and biogas burning temperature were 6,87-7,10 and 152°C with the flame of red colour. This study shows that the optimal mixture ratio of the basic substrate and the inoculum for producing biogas is 3:2, and the produced biogas is potential to be used as an alternative energy.

Keywords: Biogas, Goat's waste, Liquid waste of tempeh, and Cow's rumen.

PENDAHULUAN

Permasalahan energy merupakan isu global yang saat ini tengah mengemuka. Dari aspek penyediaan, Indonesia merupakan negara yang kaya dengan sumberdaya energi baik energi yang sifatnya tidak dapat diperbaharui maupun yang dapat diperbaharui. Namun demikian, eksplorasi sumberdaya energi lebih banyak difokuskan pada energi fosil yang sifatnya tidak dapat diperbaharui sedangkan energi yang bersifat dapat diperbaharui belum banyak dimanfaatkan. Kondisi ini menyebabkan ketersediaan energi fosil, khususnya minyak mentah, semakin langka yang menyebabkan Indonesia saat ini menjadi net importir minyak mentah dan produk-produk turunannya (Kementrian Energi dan Sumberdaya Mineral, 2009).

Ditinjau dari aspek konsumsi, Indonesia mengalami peningkatan konsumsi energi dari tahun ke tahun. Pada periode 2000-2008,

konsumsi energi akhir mengalami peningkatan rata-rata per tahun sebesar 2,73 persen dari 764,40 juta SBM menjadi 890 juta SBM. Menurut jenis energi, konsumsi energi BBM merupakan konsumsi energi tertinggi yang diikuti oleh biomas, gas, listrik dan batubara.

Menipisnya cadangan energi fosil pada satu sisi, sementara disisi lain konsumsi energi terus mengalami peningkatan menjadi ancaman terhadap keberlangsungan tersedianya energi di Indonesia. Oleh karenanya berbagai upaya perlu dilakukan diantaranya yaitu mengembangkan energi alternatif yang sifatnya dapat diperbaharui.

Salah satu energi alternatif yang sifatnya dapat diperbaharui yaitu biogas. Biogas merupakan gas yang dihasilkan dari bahan-bahan organik misalnya berasal dari limbah peternakan, limbah pertanian, maupun limbah industri melalui proses fermentasi di dalam biodigester. Dalam upaya mencari sumber-sumber energi alternatif,

biogas merupakan salah satu yang bisa dikembangkan di Indonesia.

Limbah peternakan seperti feses ternak dapat dimanfaatkan sebagai media pembuatan biogas. Menurut Widodo dan Asari (2006), feses ternak mengandung nitrogen, fosfor, dan kalium yang merupakan kandungan nutrisi utama untuk bahan pengisi biogas. Salah satu jenis feses ternak yang berpotensi untuk digunakan sebagai media pembuatan biogas adalah feses kambing, karena feses kambing memiliki kandungan selulosa yang tinggi, mudah diuraikan oleh bakteri, jumlahnya melimpah dan merupakan limbah yang tidak dimanfaatkan sehingga mudah diperoleh.

Selain limbah peternakan, limbah cair tempe juga dapat dimanfaatkan sebagai media penghasil biogas. Limbah cair tempe merupakan hasil samping dari proses pembuatan tempe yang di dalamnya masih terkandung nutrisi seperti karbohidrat, protein, dan lemak

seperti yang terkandung pada kedelai ataupun tempe. Limbah ini apabila tidak dikelola dengan baik dan hanya langsung dibuang di perairan akan sangat mengganggu lingkungan di sekitarnya.

Pembuatan biogas dari limbah cair tempe dan kotoran kambing sangat cocok dikembangkan di kota Palu, karena saat ini telah banyak industri kedelai (tempe dan tahu) yang produktif dan setiap harinya menghasilkan limbah yang belum dimanfaatkan secara baik. Meskipun keberadaannya tidak sebanyak dengan yang ada di Pulau Jawa, namun industri kedelai di Kota Palu sudah mulai berkembang. Selain itu, pemanfaatan limbah peternakan kambing di Kota Palu juga belum dilakukan secara maksimal, yakni hanya sebatas penggunaannya sebagai pupuk kompos. Biogas dari kedua limbah tersebut berpotensi dijadikan sebagai sumber energi alternatif, terutama sebagai pengganti bahan bakar minyak dan gas elpiji.

Selain substrat dasar, untuk menghasilkan biogas dibutuhkan penambahan biostarter. Pemilihan starter yang baik sangat penting untuk mempercepat proses perombakan bahan organik. Cairan rumen dapat dijadikan sebagai biostarter yang baik karena di dalamnya terdapat bakteri selulolitik dan metanogenik. Hal ini sesuai dengan penelitian Gamayanti (2011) yang membuktikan penambahan cairan rumen sapi dapat memaksimalkan produksi biogas yaitu 119,36 ml dibandingkan tanpa diberi cairan rumen 91,15 ml.

Berdasarkan uraian di atas maka peneliti tertarik melakukan penelitian untuk memproduksi biogas dari limbah cair tempe dan kotoran kambing dengan menggunakan inokulum bakteri dari rumen sapi.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Mei sampai dengan Juli

2016 di Laboratorium Jurusan Biologi, Unit Bioteknologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Tadulako, Palu.

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain wadah fermentor, gelas ukur, pH meter, *thermosensor*, ember, corong, batang pengaduk, gelas beaker, erlenmeyer, autoklaf, korek api, kamera digital, *hand sprayer*, dan alat tulis-menulis.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain kotoran kambing, limbah cair tempe, cairan rumen sapi, balon, karet gelang, lakban, pipa/selang, label, alkohol 70%, plastik tahan panas, *handscoon*, aquades, *tissue* dan lap kasar.

Rancangan Penelitian

Metode yang digunakan yaitu eksperimental, yang didesain dengan model Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 6 perlakuan dan 3 kali ulangan. Susunan perlakuan terdiri dari P_0 (100% Substrat dasar, tanpa inokulum),

P₁(80% Substrat dasar + 20% inokulum), P₂ (60% Substrat dasar + 40% inokulum), P₃ (40% Substrat dasar + 60% inokulum), P₄ (20% Substrat dasar + 80% inokulum), dan P₅ (100% Inokulum, tanpa substrat dasar).

Ket : Substrat dasar adalah perbandingan antara limbah cair tempe (LCT) dengan kotoran kambing (1:1)

Prosedur Penelitian

a. Tahap Persiapan

Bahan limbah cair tempe diperoleh dari pabrik tempe yang berada di Jalan Jambu Kecamatan Palu Barat, Kota Palu. Waktu pengambilan limbah adalah pada pagi hari, setelah proses produksi. Isi rumen sapi diambil dari Rumah Pemotongan Hewan (RPH) di Kelurahan Tavanjuka, Kecamatan Tatanga, Kota Palu, dan kotoran kambing diambil dari peternakan kambing di Kelurahan Tondo Kecamatan Mantikulore, Kota Palu. Ketiga bahan dimasukkan dalam wadah yang steril.

b. Tahap Pelaksanaan

Dilakukan pembuatan media fermentasi (substrat dasar) dengan cara mencampurkan kotoran kambing dan limbah cair tempe dengan perbandingan 1:1. Selanjutnya, pH substrat diukur dan substrat dimasukkan ke dalam wadah fermentor. Kemudian disterilkan di dalam autoklaf dengan suhu 121^oC selama 10 menit, dengan tekanan 2 atm. Setelah media fermentasi siap, lalu dilakukan proses inkubasi. Inokulum yang berupa cairan rumen sapi dimasukkan ke dalam media fermentasi sesuai dengan rancangan perlakuan. Kemudian wadah fermentor dipasang balon yang telah disambungkan dengan selang/pipa. Balon kemudian dikedapkan dengan karet gelang, lalu fermentor diinkubasi pada suhu ruang selama 10 hari.

c. Tahap Pengamatan

Masa pengamatan dilakukan bersamaan dengan masa inkubasi, yaitu selama 10 hari.

Variabel Pengamatan

a. Pengukuran Volume Gas

Mengacu metode Mara dan Alit (2011), pengukuran volume biogas dilakukan dengan menerapkan prinsip Archimedes, dimana sebuah benda yang tenggelam seluruhnya atau sebagian dalam suatu fluida akan mendapatkan gaya angkat ke atas yang sama besar dengan berat fluida yang dipindahkan, yang dimaksudkan dengan fluida yang dipindahkan adalah volume fluida yang sama dengan volume benda yang tercelup dalam fluida. Prinsip Archimedes juga tidak hanya berlaku untuk cairan, tetapi juga berlaku untuk gas, tabung atau balon yang berisi gas lain memindahkan udara sebanyak volume tabung atau balon.

b. Uji Nyala Api

Mengacu pada Wati dkk (2014), pengamatan uji nyala gas yang tertampung di dalam balon dilakukan dengan cara menyulutkannya ke sumber api untuk memastikan apakah gas

tersebut mengandung metan atau tidak. Uji positifnya ditandai dengan nyala api berwarna biru.

c. Pengukuran Suhu

Pengukuran suhu dilakukan bersamaan dengan uji nyala api. Saat gas disulutkan ke sumber api maka langsung dilakukan pengukuran suhu dengan menggunakan *thermosensor*.

d. pH Kultur

Pengukuran pH dilakukan untuk mengetahui kisaran pH pada kultur yang digunakan bakteri sebagai media pertumbuhannya.

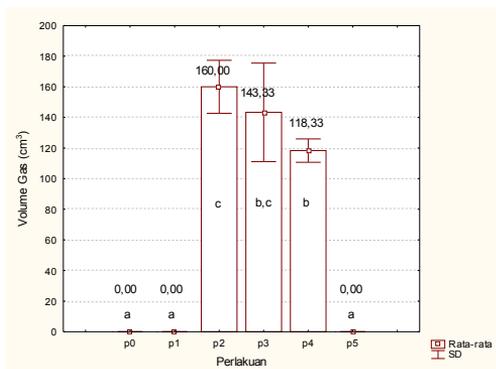
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Volume Biogas

Biogas yang terbentuk selama masa fermentasi ditandai dengan balon yang pada awalnya kempes menjadi mengembang. Berdasarkan hasil pengamatan terhadap perlakuan yang diujikan menunjukkan bahwa tidak semua perlakuan dapat mengembangkan balon atau dengan kata lain tidak semua perlakuan dapat

menghasilkan biogas. Perlakuan yang dapat menghasilkan biogas adalah perlakuan P3, P4, dan P5, dengan volume biogas yang dihasilkan berturut-turut adalah 160 cm³, 143,33 cm³, dan 118,33 cm³. Berdasarkan Gambar 4.1, perlakuan yang menghasilkan volume biogas tertinggi adalah perlakuan P2 (60% substrat dasar : 40% inokulum), yaitu sebesar 160 cm³. Sementara itu, perlakuan yang tidak menghasilkan biogas ada 3, yaitu perlakuan P0, P1, dan P5.



Gambar 2. Grafik yang menunjukkan hubungan antara perlakuan dan volume gas yang dihasilkan



Gambar 3. Volume gas tertinggi (perlakuan P2) dengan rasio pencampuran substrat dasar 60% : inokulum 40%.

Uji Nyala

Pengujian nyala api dilakukan untuk mengetahui apakah biogas yang dihasilkan selama proses fermentasi mengandung gas metana atau tidak. Dilakukan pengujian terhadap perlakuan yang menghasilkan biogas dan hasil yang diperoleh adalah perlakuan P2, P3, dan P4 menimbulkan nyala api yang berwarna merah ketika disulut pada sumber api seperti terlihat pada gambar

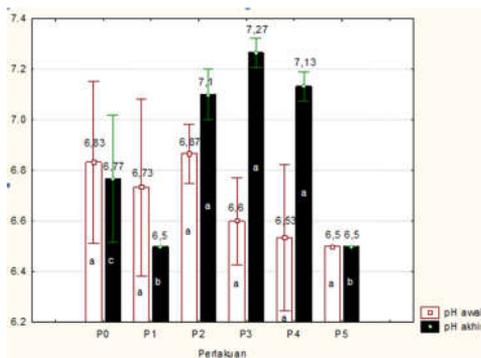
Pengukuran Suhu

Dari hasil pengukuran suhu yang dilakukan bersamaan dengan

uji nyala, diperoleh suhu biogas yaitu sebesar 152⁰C untuk semua perlakuan yang diujikan.

pH Kultur

Pengukuran pH terhadap keenam perlakuan dilakukan pada awal dan akhir masa inkubasi, tujuannya yaitu untuk mengetahui kisaran pH yang dibutuhkan bakteri yang ada pada kultur untuk hidup dan tumbuh sehingga dapat menghasilkan biogas. Berdasarkan Gambar 4, menunjukkan bahwa pH kultur pada awal maupun akhir masa inkubasi berada pada kisaran pH 6,5-7,5.



Gambar 4. pH kultur pada awal dan akhir masa inkubasi

PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil penelitian terbentuknya biogas, terlihat bahwa

tidak semua perlakuan menunjukkan kemampuan menghasilkan biogas. Perlakuan yang mampu menghasilkan biogas adalah perlakuan P2, P3, dan P4. Dari hasil analisis data, diperoleh rata-rata volume gas berturut-turut adalah 160 cm³, 143,33 cm³ dan 118,33 cm³. Perlakuan P2 menunjukkan pembentukan volume biogas tertinggi, yang memiliki rasio pencampuran 60% : 40% (substrat dasar : inokulum). Hasil ini menunjukkan bahwa komposisi antara substrat dasar dan inokulum tersebut merupakan yang terbaik untuk menghasilkan biogas. Rasio pencampuran 60% substrat dasar dan 40% inokulum ini adalah kombinasi yang seimbang, karena kandungan bahan organik dalam substrat mampu diuraikan oleh inokulum sehingga hasil fermentasi cukup tinggi. Volume biogas tertinggi kedua dihasilkan dari perlakuan P3 dengan rata-rata volume gas 143,33 cm³, yang memiliki rasio pencampuran 40%

substrat dasar dan 60% inokulum. Volume biogas tertinggi ketiga dihasilkan dari perlakuan P4 yang memiliki rasio pencampuran 20% substrat dasar dan 80% inokulum dengan rata-rata volume gas yang dihasilkan 118,33 cm³. Hal ini berbeda dengan yang dikemukakan oleh Wati dkk (2014), bahwa penambahan cairan rumen terbukti dapat meningkatkan produksi biogas pada feses kambing. Namun, penambahan cairan rumen pada suatu substrat tidak terus-menerus akan menaikkan volume gas. Pada level tertentu, penambahan rumen akan membuat volume gas stagnan (tidak mengalami penambahan produksi gas), bahkan setelah itu akan menurun. Hal ini dikarenakan keberadaan mikroba yang berperan dalam proses produksi gas dalam cairan rumen sapi akan tersesuaikan dengan kandungan nutrisi pada substrat dasar yang digunakannya sebagai sumber karbon dan nitrogen, sehingga komposisi yang seimbang antara

rumen sebagai inokulum dan substrat dasarlah yang akan menghasilkan volume gas yang maksimal.

Sementara itu, perlakuan yang tidak menunjukkan kemampuan pembentukan biogas adalah perlakuan P0, P1 dan P5. P0 dan P5 adalah perlakuan 100% substrat dan 100% inokulum, sedangkan P1 adalah rasio 80% : 20% (substrat dasar : inokulum). Perlakuan P0 dan P5 tidak menunjukkan adanya pembentukan gas yang dapat mengisi balon, hal ini dikarenakan pada P0 hanya tersedia bahan organik saja, tidak ditambahkan inokulum sehingga tidak ada bakteri yang mendegradasi bahan organik tersebut. Sama halnya dengan perlakuan P5, hanya tersedia inokulum saja tanpa adanya substrat sehingga tidak tersedia bahan organik yang akan didegradasi oleh bakteri sehingga tidak bisa menghasilkan gas. Perlakuan berikutnya yang tidak menghasilkan biogas adalah perlakuan P1, dengan rasio 80%

substrat dasar : 20% inokulum. Hal ini terjadi karena inokulum yang digunakan dalam jumlah sedikit, sedangkan substratnya dalam jumlah yang besar, sehingga banyak bahan organik yang tidak terdegradasi oleh bakteri yang menyebabkan produksi gas menjadi tidak maksimal. Hal ini sejalan dengan Susilowati (2009), cairan rumen dalam konsentrasi yang sedikit menyebabkan produksi biogas tidak optimal.

Untuk mengetahui biogas yang dihasilkan dalam proses fermentasi mengandung gas metana, dilakukan uji nyala. Hasil yang diperoleh menunjukkan gas yang dihasilkan mengandung gas metana, namun masih dalam jumlah yang sedikit dan nilai kalornya rendah, sehingga ketika disulut pada sumber api menimbulkan nyala api yang berwarna merah. Hal ini sesuai dengan yang dikemukakan Wahyudi (2013), yaitu kualitas api yang berwarna merah memiliki kandungan CH_4 yang lebih sedikit

(belum optimal). Afan (2015) juga menyatakan bahwa ketika api memiliki warna cenderung merah, maka dapat diartikan bahwa bahan bakar/api tersebut memiliki nilai kalor yang rendah.

Dari hasil pengukuran suhu yang dilakukan bersamaan dengan uji nyala, diperoleh suhu pembakaran biogas yaitu sebesar $152^{\circ}C$ untuk semua perlakuan yang diujikan. Nilai suhu ini berhubungan dengan nilai kalor dari biogas. Semakin besar nilai kalor suatu bahan maka akan semakin besar energi yang dihasilkan. Berdasarkan rumus mengukur kalor, $Q = mc T$, semakin besar nilai suhu maka akan semakin besar pula nilai kalornya. Suhu biogas yang dihasilkan adalah $152^{\circ}C$, tidak jauh berbeda dibandingkan dengan suhu pembakaran gas elpiji yaitu $195^{\circ}C$. Artinya, besarnya kalor dari biogas yang dihasilkan masih lebih rendah dari gas elpiji, dibuktikan ketika disulut pada sumber api

nyala yang ditimbulkan lemah dan berwarna merah.

Pengukuran pH terhadap keenam perlakuan dilakukan pada awal dan akhir masa inkubasi, tujuannya yaitu untuk mengetahui kisaran pH yang dibutuhkan bakteri yang ada pada kultur untuk hidup dan tumbuh sehingga dapat menghasilkan biogas. pH awal kultur diukur sebelum dilakukannya proses fermentasi dan dibiarkan sebagaimana pH alaminya tanpa ada penambahan bahan kimia. Berdasarkan Gambar 4, menunjukkan bahwa pH kultur pada awal maupun akhir masa inkubasi berada pada kisaran pH 6,23-7,27. Hal ini sesuai dengan literatur (Seadi *et al.*, 2008) menyatakan bahwa pembentukan gas metan berkisar antara pH 5,5-8,5.

Berdasarkan analisis pH awal dan akhir, terlihat bahwa pH awal pada semua perlakuan tidak menunjukkan adanya perbedaan yang nyata, karena berada pada notasi yang sama yakni notasi a.

Analisis pH akhir, menunjukkan adanya perbedaan yang nyata. Perlakuan P2, P3 dan P4 berada sama pada notasi a, berbeda nyata dengan perlakuan P1 dan P5 yang berada pada notasi b, dan P0 pada notasi c. Hal ini menunjukkan bahwa pH awal sebelum dilakukannya fermentasi adalah sama pada kisaran 6, yaitu 6,83 pada P0, 6,73 pada P1, 6,87 pada P2, 6,6 pada P3, 6,53 pada P4 dan 6,5 pada P5. Sementara itu setelah terjadinya fermentasi, pH meningkat menjadi 7,1 pada P2, 7,27 pada P3 dan 7,13 pada P4, dan menurun menjadi 6,77 pada P0, 6,5 pada P1, tetapi P5 tetap. Hal ini terjadi karena aktivitas mikroba yang berperan dalam menghasilkan gas akan mengubah derajat keasaman pada kultur.

Terkait dengan volume gas yang dihasilkan, perlakuan P2, P3, dan P4 adalah perlakuan yang mampu menghasilkan gas, dimana ketiga perlakuan ini memiliki pH akhir diatas 7. Sementara, perlakuan P0, P1, dan P5 tidak dapat

menghasilkan gas, jika dilihat dari pH akhir yang dimilikinya berada pada kisaran 6,5-6,77. Hal ini dikarenakan, kondisi keasaman yang optimal pada pencernaan anaerobik adalah berada pada pH sekitar 6,8-8, laju pencernaan akan menurun pada kondisi pH yang lebih tinggi atau lebih rendah.

Tidak dihasilkannya gas pada perlakuan P0, P1, dan P5 karena terjadi kegagalan proses pencernaan anaerobik dalam digester akibat tidak seimbangnya populasi bakteri metanogenik terhadap bakteri asam, yang menyebabkan lingkungan menjadi sangat asam (pH kurang dari 7), yang selanjutnya akan menghambat kelangsungan hidup bakteri metanogenik.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis data maka dapat disimpulkan bahwa biogas dapat diproduksi melalui penggunaan substrat dasar limbah cair tempe dan kotoran kambing dengan

inokulum bakteri dari rumen sapi, namun tidak semua perlakuan dapat menunjukkan pembentukan biogas. Adapun rasio campuran substrat dasar dan inokulum yang paling optimal dalam menghasilkan biogas adalah rasio 60% substrat dasar : 40% inokulum (perlakuan P2), yang menghasilkan volume biogas tertinggi yaitu 160 cm³.

SARAN

Faktor lingkungan yang mempengaruhi pembentukan gas seperti suhu fermentor dan pH kultur harus terukur dengan baik, serta pada tahap pengamatan pengukuran suhu dan uji nyala harus dilakukan dengan lebih cermat pada semua perlakuan (beserta ulangnya) agar hasil yang diperoleh akurat.

DAFTAR PUSTAKA

Gamayanti, K. N. (2011). Pengaruh Penggunaan Limbah Cairan Rumen dan Lumpur Gambut sebagai Starter dalam Proses Fermentasi Metanogenik. Thesis. Fakultas

- Pendidikan, Universitas Gadjah Mada. Jogjakarta.
- Kementerian Energi dan Sumberdaya Mineral. (2009). Handbook of Energy and Economic Statistic of Indonesia, Center for Data and Information on Energy and Mineral Resources. Ministry Energy and Mineral Resources: Jakarta
- Outlook Energi Indonesia. (2013). Pengembangan Energi dalam Mendukung Sektor Transportasi dan Industri Pengolahan Mineral. BPPT. Retrieved from Outlook Energi Indonesia website: https://www.researchgate.net/publication/275644677_Outlook_EnergiIndonesia_2013, diakses pada tanggal 22 September 2016.
- Seadi, T. Al., Rutz, D., Prassl, H., Köttner, M., Finsterwalder, T., Volk, S., and Janssen, R. (2008). Biogas Handbook. University of Southern Denmark: Esbjerg, Denmark.
- Susilowati, E. (2009). Uji Pemanfaatan Cairan Rumen Sapi Untuk Meningkatkan Kecepatan Produksi Biogas Dan Konsentrasi Gas Metan Dalam Biogas. Thesis. Universitas Gadjah Mada: Yogyakarta.
- Wahyudi, A. (2013). Pengaruh Komposisi Air Dalam Pembentukan Biogas Dari Eceng Gondok Waduk X Koto Padang Panjang Dan Feses Sapi. *Teknika*, 20(1).
- Wati, L., Ahda, Y., Handayani, D. (2014). Pengaruh Volume Cairan Rumen Sapi terhadap Berbagai Jenis Feses dalam Menghasilkan Biogas. *Sainstek*, VI (1), 43-51.
- Widodo, Teguh Wikan., Asari, Ahmad., Ana, N., dan Elita, R. (2006). Rekayasa dan Pengujian Reaktor Biogas Skala Kelompok Tani Ternak. *Enjiniring Pertanian*, 4 (1), 1-52.
- Yenni, D., Yommi, S. M., dan Sari. (2012). Uji Pembentukan Biogas dari Substrat Sampah Sayur dan Buah Dengan Ko-Substrat Limbah Isi Rumen Sapi. *Jurnal Teknik Lingkungan*. UNAND.