

## *Smart-Design Instalasi Digester Biogas Skala Komunal Pesantren High Temperature*

\*Mahliza Nasution<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik sipil, Fakultas Teknik, Universitas Medan Area, Medan,

\*Email : [liizaoza@gmail.com](mailto:liizaoza@gmail.com)

### **Abstract**

Biogas is a flammable gas produced by the fermentation of organic materials by anaerobic bacteria (bacteria that live in airtight conditions). In general all types of organic matter can be processed to produce biogas, however only homogeneous organic matter (solid, liquid) such as feces and urine (urine) of human livestock are suitable for simple biogas systems. In areas where there are many food processing industries, such as tofu, tempeh, fish, pindang or brem, they can integrate their waste channels into the biogas system, so that industrial waste does not pollute the surrounding environment. This is possible because the industrial waste mentioned above comes from homogeneous organic materials. Smoggy biogas fuel is a superior substitute for fuel oil or natural gas. This gas, produced in a process called anaerobic digestion, is a gas mixture of methane (CH<sub>4</sub>), carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) and small amounts of nitrogen, ammonia, sulfur dioxide, hydrogen sulfide, and hydrogen. Naturally, this gas is formed in sewerage, garbage piles, lake or swamp beds. Mammals including humans produce biogas in their digestive system, bacteria in the digestive system produce biogas for the digestion of cellulose. Biomass which contains high water content such as animal manure and food processing waste is suitable for use as raw material for making biogas.

**Keywords:** biogas, teknologi disester, *continous feeding*, *smart design*, ipal

### **Abstrak**

Biogas adalah gas mudah terbakar (*flammable*) yang dihasilkan oleh proses Fermentasi bahan-bahan organik oleh bakteri-bakteri anaerob (bakteri yang hidup dalam kondisi kedap udara). Pada umumnya semua jenis bahan organik bisa diproses untuk menghasilkan biogas, namun demikian hanya bahan organik (padat, cair) homogen seperti kotoran dan urine (air kencing) hewan ternak manusia cocok untuk sistem biogas sederhana. Di daerah yang banyak industri pemrosesan makanan antara lain tahu, tempe, ikan, pindang atau brem bisa menyatukan saluran limbahnya ke dalam sistem biogas, sehingga limbah industri tersebut tidak mencemari lingkungan di sekitarnya. Hal ini memungkinkan karena limbah industri tersebut diatas berasal dari bahan organik yang homogen. Bahan bakar biogas tidak menghasilkan asap merupakan suatu pengganti yang unggul untuk menggantikan bahan bakar minyak atau gas alam. Gas ini dihasilkan dalam proses yang disebut pencernaan anaerob merupakan gas campuran metan (CH<sub>4</sub>), karbondioksida (CO<sub>2</sub>), dan sejumlah kecil nitrogen, amonia, sulfur dioksida, hidrogen sulfida, dan hidrogen. Secara alami, gas ini terbentuk pada limbah pembuangan air, tumpukan sampah, dasar danau atau rawa. Mamalia termasuk manusia menghasilkan biogas dalam sistem pencernaannya, bakteri dalam sistem pencernaan menghasilkan biogas untuk proses mencerna selulosa. Biomassa yang mengandung kadar air yang tinggi seperti kotoran hewan dan limbah pengolahan pangan cocok digunakan untuk bahan baku pembuatan biogas.

**Kata Kunci:** biogas, teknologi disester, *continous feeding*, *smart design*, ipal

## **PENDAHULUAN**

Biogas adalah gas mudah terbakar (*flammable*) yang dihasilkan oleh proses fermentasi bahan-bahan organik oleh bakteri-bakteri anaerob (bakteri yang hidup dalam kondisi kedap udara). Pada umumnya semua jenis bahan organik bisa diproses untuk menghasilkan biogas, namun demikian hanya bahan organik (padat, cair) homogen seperti kotoran dan urine (air kencing) hewan ternak manusia cocok untuk sistem biogas sederhana. Di daerah yang banyak industri pemrosesan makanan antara lain tahu, tempe, ikan, pindang atau brem bisa menyatukan saluran limbahnya ke dalam sistem biogas, sehingga limbah industri tersebut tidak mencemari lingkungan di sekitarnya. Hal ini memungkinkan karena limbah industri tersebut diatas berasal dari bahan organik yang homogen. (Biogas Borthing Project – Rajasthan 2013)

Bahan bakar biogas tidak menghasilkan asap merupakan suatu pengganti yang unggul untuk menggantikan bahan bakar minyak atau gas alam. Gas ini dihasilkan dalam proses yang disebut pencernaan anaerob, merupakan gas campuran metan (CH<sub>4</sub>), karbondioksida (CO<sub>2</sub>), dan sejumlah kecil nitrogen, amonia, sulfur dioksida,

hidrogen sulfida, dan hidrogen. Secara alami, gas ini terbentuk pada limbah pembuangan air, tumpukan sampah, dasar danau atau rawa. Mamalia termasuk manusia menghasilkan biogas dalam sistem pencernaannya, bakteri dalam sistem pencernaan menghasilkan biogas untuk proses mencerna selulosa. Biomassa yang mengandung kadar air yang tinggi seperti kotoran hewan dan limbah pengolahan pangan cocok digunakan untuk bahan baku pembuatan biogas. Ada tiga kelompok bakteri yang berperan dalam proses pembentukan biogas, yaitu:

1. Kelompok bakteri fermentative : *Steptococci*, *Bacteriodes*, dan beberapa jenis *Enterobactericeae*
2. Kelompok bakteri asetogenik: *Desulfovibrio*
3. Kelompok bakteri metana: *Mathanobacterium*, *Mathanobacillus*, *Methan osacaria*, dan *Methanococcus*.

Bakteri methanogen secara alami dapat diperoleh dari berbagai sumber seperti: air bersih, endapan air laut, sapi, kambing, lumpur (*sludge*) kotoran anaerob ataupun TPA (Tempat Pembuangan Akhir). Selama beberapa tahun, masyarakat pedesaan di seluruh dunia telah menggunakan biodigester untuk mengubah limbah pertanian dan peternakan yang mereka miliki menjadi bahan bakar gas.

Namun, saat ini, pemanfaatan dan penyebaran biogas masih di angka 1,24 persen meskipun potensi limbah organik mencapai 39 juta ton per hari. Padahal, optimalisasi pemanfaatan biogas penting untuk membantu transisi energi lokal untuk mengurangi impor elpiji. Sementara itu, subsidi pemerintah untuk elpiji terus bertambah setiap tahunnya, mencapai 6,6 miliar metrik ton pada 2018.

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral melaporkan bahwa pencapaian penyebaran reaktor biogas yang hanya sekitar 50 persen dari target 49,6 juta meter kubik pada 2017. Tahun 2018 mencatat tingkat pencapaian yang lebih rendah, yaitu sekitar 30 persen dari target 69 juta meter kubik. Menurut Kementerian, kendala penyebaran reaktor biogas adalah tidak adanya dana dari Anggaran Pendapatan dan Belanja Negara (APBN) untuk program tersebut.

Pembuatan biogas tidak terlalu sulit. Berikut gambaran sederhana rangkaian untuk membuat biogas sehingga gas dari kotoran dapat dimanfaatkan dan kotoran tidak berbau. Sebagai gambaran caranya sebagai berikut:

1. Yang pertama dilakukan adalah menyediakan wadah atau bejana untuk mengolah kotoran organik menjadi biogas. Kalau hanya diperuntukkan secara pribadi, cukup menggunakan bak yang terbuat dari semen yang cukup lebar atau drum bekas yang masih cukup kuat. Selain itu perlunya kesediaan kotoran hewan (baik sapi maupun kambing) yang merupakan bahan baku biogas.
2. Proses kedua adalah mencampurkan kotoran organik tersebut dengan air. Biasanya campuran antara kotoran dan air menggunakan perbandingan 1:1 atau bisa juga menggunakan perbandingan 1:1,5. Air berperan sangat penting di dalam proses biologis pembuatan biogas. Artinya jangan terlalu banyak (berlebihan) juga jangan terlalu sedikit (kekurangan).
3. Temperatur selama proses berlangsung, karena ini menyangkut "kesenangan" hidup bakteri pemroses biogas antara 27 – 28 derajat celsius. Dengan temperatur itu proses pembuatan biogas akan berjalan sesuai dengan waktunya. Tetapi berbeda kalau nilai temperatur terlalu rendah (dingin), maka waktu untuk menjadi biogas akan lebih lama.
4. Kehadiran jasad pemroses, atau jasad yang mempunyai kemampuan untuk menguraikan bahan-bahan yang akhirnya membentuk CH<sub>4</sub> (gas metan) dan CO<sub>2</sub>. Dalam kotoran kandang, lumpur selokan ataupun sampah dan jerami, serta bahan-bahan buangan lainnya, banyak jasad renik, baik bakteri ataupun jamur pengurai bahan-bahan tersebut didapatkan. Tapi yang menjadi masalah adalah hasil uraiannya belum tentu menjadi CH<sub>4</sub> yang diharapkan serta mempunyai kemampuan sebagai bahan bakar.
5. Untuk mendapatkan biogas yang diinginkan, bak penampung (bejana) kotoran organik harus bersifat anaerobik. Dengan kata lain, tangki itu tak boleh ada oksigen dan udara yang masuk sehingga sampah-sampah organik yang dimasukkan ke dalam bioreaktor bisa dikonversi mikroba. Keberadaan udara menyebabkan gas CH<sub>4</sub> tidak akan terbentuk. Untuk itu maka bejana pembuat biogas harus dalam keadaan tertutup rapat.

Setelah proses ini selesai, maka selama dalam kurun waktu 1 minggu didiamkan, maka gas metan sudah

terbentuk dan siap dialirkan untuk keperluan memasak. Namun ada beberapa hal yang harus diperhatikan dalam memanfaatkan biogas. Seperti misalnya sifat biogas yang tidak berwarna, tidak berbau dan sangat cepat menyala. Karenanya kalau lampu atau kompor mempunyai kebocoran, akan sulit diketahui secepatnya.

Berbeda dengan sifat gas lainnya, seperti elpiji, maka karena berbau akan cepat dapat diketahui kalau terjadi kebocoran pada alat yang digunakan. Sifat cepat menyala biogas, juga merupakan masalah tersendiri. Artinya dari segi keselamatan pengguna. Sehingga tempat pembuatan atau penampungan biogas harus selalu berada jauh dari sumber api yang kemungkinan dapat menyebabkan ledakan kalau tekanannya besar.

Pada umumnya, biodigester dimanfaatkan pada skala rumah tangga. Namun tidak menutup kemungkinan untuk dimanfaatkan pada skala yang lebih besar (komunitas). Biodigester mudah untuk dibuat dan diperasikan. Beberapa keuntungan yang dimiliki oleh biodigester bagi rumah tangga dan komunitas antara lain:

- Mengurangi penggunaan bahan bakar lain (minyak tanah, kayu, dsb) oleh rumah tangga atau komunitas
- Menghasilkan pupuk organik berkualitas tinggi sebagai hasil sampingan
- Menjadi metode pengolahan sampah (*raw waste*) yang baik dan mengurangi pembuangan sampah ke lingkungan (aliran air/sungai)
- Menigkatkan kualitas udara karena mengurangi asap dan jumlah karbondioksida akibat pembakaran bahan bakar minyak/kayu bakar
- Secara ekonomi, murah dalam instalasi serta menjadi investasi yang menguntungkan dalam jangka panjang.

## METODE PELAKSANAAN

Bangunan utama dari instalasi biogas adalah Digester yang berfungsi untuk menampung gas metan hasil perombakan bahan organik oleh bakteri. Jenis digester yang paling banyak digunakan adalah model continuous feeding dimana pengisian bahan organiknya dilakukan secara kontinu setiap hari. Besar kecilnya digester tergantung pada kotoran yang dihasilkan dan banyaknya biogas yang diinginkan. Untuk membuat digester diperlukan bahan bangunan seperti pasir, semen, batu kali, batu koral, bata merah, besi konstruksi, cat dan pipa paralon.

Tabel 1. Potensi Produksi Gas dari Berbagai Jenis Kotoran

Jenis Kotoran	Produksi Gas Per Kg (m <sup>3</sup> )
Sapi / Kerbau	0.023-0.040
Babi	0.040-0.059
Unggas	0.065-0.116
Manusia	0.020-0.028

Sumber : Hasil Pengolahan Data

## Pembangunan Instalasi Biogas

Bangunan utama dari instalasi biogas adalah Digester yang berfungsi untuk menampung gas metan hasil

perombakan bahan organik oleh bakteri. Jenis digester yang paling banyak digunakan adalah model *continuous feeding* dimana pengisian bahan organiknya dilakukan secara kontinu setiap hari. Besar kecilnya digester tergantung pada kotoran yang dihasilkan dan banyaknya biogas yang diinginkan. Untuk membuat digester diperlukan bahan bangunan seperti pasir, semen, batu kali, batu koral, bata merah, besi konstruksi, cat dan pipa paralon.

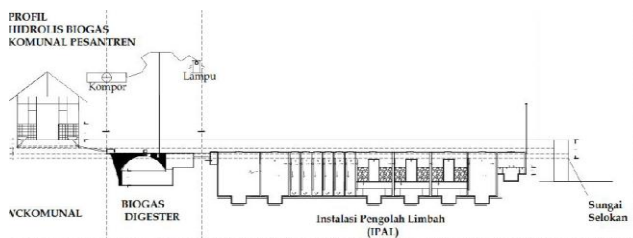
### Teknologi Digester

Seluruh *biodigester* di permukaan tanah – Biasanya berasal dari tong- tong bekas minyak tanah atau aspal. Kelemahan tipe ini adalah volume yang kecil, sehingga tidak mencukupi untuk kebutuhan sebuah rumah tangga (keluarga). Kelemahan lain adalah kemampuan material yang rendah untuk menahan korosi dari biogas yang dihasilkan.

Sebagian tangki *biodigester* di bawah permukaan tanah – Biasanya *biodigester* ini terbuat dari campuran semen, pasir, kerikil, dan kapur yang dibentuk seperti sumuran dan ditutup dari plat baja. Volume tangki dapat diperbesar atau diperkecil sesuai dengan kebutuhan. Kelemahan pada sistem ini adalah jika ditempatkan pada daerah yang memiliki suhu rendah (dingin), dingin yang diterima oleh plat baja merambat ke dalam bahan isian, sehingga menghambat proses produksi.

Seluruh tangki *biodigester* di bawah permukaan tanah – Model ini merupakan model yang paling populer di Indonesia, dimana seluruh instalasi *biodigester* ditanam di dalam tanah dengan konstruksi yang permanen, yang membuat suhu *biodigester* stabil dan mendukung perkembangan bakteri methanogen.

Saat ini berbagai bahan dan jenis peralatan biogas telah banyak dikembangkan sehingga dapat disesuaikan dengan karakteristik wilayah, jenis, jumlah dan pengelolaan kotoran ternak atau manusia. Secara umum terdapat dua teknologi yang digunakan untuk memperoleh biogas. Pertama, proses yang sangat umum yaitu fermentasi kotoran ternak menggunakan digester yang didesain khusus dalam kondisi anaerob. Kedua, teknologi yang baru dikembangkan yaitu dengan menangkap langsung gas metan dari lokasi tumpukan sampah tanpa harus membuat digester khusus. Peralatan dan proses pengolahan dan pemanfaatan biogas ditampilkan pada gambar berikut.



Gambar 1. Profil Hidrolis Biogas Komunal Pesantren  
Sumber: Hasil Desain

Beberapa keuntungan kenapa digester anaerobik lebih banyak digunakan antara lain :

#### 1. Keuntungan pengolahan limbah

- Digester anaerobik merupakan proses pengolahan limbah yang alami
- Membutuhkan lahan yang lebih kecil dibandingkan dengan proses kompos aerobik ataupun penumpukan sampah
- Memperkecil volume atau berat limbah yang dibuang
- Memperkecil rembesan polutan

#### 2. Keuntungan energi

- Proses produksi energi bersih
- Memperoleh bahan bakar berkualitas tinggi dan dapat diperbaharui
- Biogas dapat dipergunakan untuk berbagai penggunaan

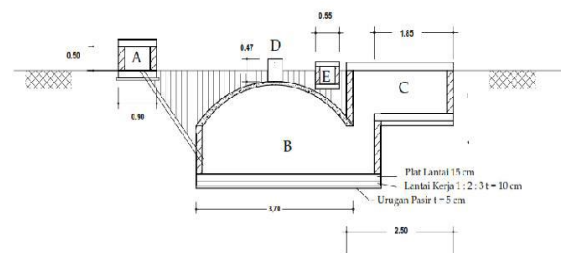
#### 3. Keuntungan lingkungan .

- Menurunkan emisi gas metan dan karbondioksida secara signifikan
- Menghilangkan bau
- Menghasilkan kompos yang bersih dan pupuk yang kaya nutrisi
- Memaksimalkan proses daur ulang
- Menghilangkan bakteri coliform sampai 99% sehingga memperkecil kontaminasi sumber air

#### 4. Keuntungan ekonomi

Lebih ekonomis dibandingkan dengan proses lainnya ditinjau dari siklus ulang proses.

Bagian utama dari proses produksi biogas yaitu tangki tertutup yang disebut digester. Desain digester bermacam-macam sesuai dengan jenis bahan baku yang digunakan, temperatur yang dipakai dan bahan konstruksi. Digester dapat terbuat dari cor beton, baja, bata atau plastik dan bentuknya dapat berupa seperti silo, bak, kolam dan dapat diletakkan dibawah tanah. Sedangkan untuk ukurannya bervariasi dari 4-35 m<sup>3</sup>.



Gambar 2. Digester Kubah  
Sumber: Hasil Desain

### Ipal Komunal

Instalasi Pengelolaan Air Limbah (IPAL) Komunal dalam perencanaan ini merupakan lanjutan proses pengelolaan air limbah dari digester yang berfungsi menetralkan air limbah digester menjadi lebih bersih, tidak berbau dan tidak membahayakan bagi kesehatan dan lingkungan, sehingga dapat dialirkan kesaluran yang ada dalam wilayah komunitas pesantren/penduduk. Pemanfaatan lain dari output yang dihasilkan adalah sebagai pupuk cair bagi tanaman sehingga didapatkan hasil tanaman yang lebih baik dan subur. IPAL Komunal yang direncanakan dalam pekerjaan adalah bak berukuran 10,70 x 6,10 m' kedalaman bak 2,60 m' seperti gambar dibawah:



3,81 liter minyak tanah, 26,68 liter minyak solar, 41,04 liter bensin, 76,95 m<sup>3</sup> gas kota, dan 179,55 kg kayu bakar. Dalam waktu satu bulan dengan perhitungan yang sama akan mampu melakukan penghematan Bahan Bakar sebagai sumber energi sebesar 707,94 kg elpiji, 954,18 liter minyak tanah, 800,28 liter solar, 1231,2 liter bensin, 2308,5 m<sup>3</sup> gas kota dan 5386,5 kg kayu bakar.

Total bahan baku dengan jumlah orang 1.167 jiwa, didapatkan 1.832,19 kg tinja. Selanjutnya dikalikan dengan 0,028 m<sup>3</sup> gas yang dihasilkan per kilogram tinja akan dihasilkan 51,3 m<sup>3</sup>. Sisa biogas untuk kebutuhan pesantren nantinya dapat disalurkan untuk kebutuhan umum seperti penerangan dan dialirkan ke generator listrik untuk menghidupkan mesin penyedot sludge. Sludge tersebut akan diolah menjadi pupuk organik cair dan padat. Kelebihannya dibandingkan dengan pupuk organik yang lain adalah memiliki kualitas unsur hara yang lebih tinggi, karena telah mengalami proses dalam alat yang biasanya mencapai tahap kematangan sempurna.

Sludge yang telah disedot akan dikumpulkan pada wadah pembuangan. Pada wadah pembuangan akan ditambahkan tanah liat beserta serabut kelapa sebagai pengikat dan perekat tanah berpasir atau berkapur (Swardji, 2011). Sludge yang telah tercampur dengan beberapa bahan akan dijadikan pupuk organik, yang memiliki potensi pendukung untuk kesuburan tanah, yaitu:

- 1) Memperbaiki struktur tanah. Pada waktu penguraian bahan organik oleh organisme di dalam tanah dibentuk produk yang mempunyai sifat sebagai perekat, yang lalu mengikat butir-butir pasir menjadi butiran yang lebih besar. Lagipula di dalam tanah tumbuh system tali-temali yang terdiri dari benang-benang jamur yang mengikat bagian tanah menjadi kesatuan,
- 2) Menaikkan daya serap tanah terhadap air. Bahan organik mempunyai daya absorpsi yang besar terhadap air tanah. Karena itu pupuk organik sering kali mempunyai pengaruh positif terhadap hasil tanaman, apalagi pada musim panas yang kering,
- 3) Menaikkan kondisi kehidupan di dalam tanah. Hal ini terutama disebabkan karena organisme di dalam tanah dapat memanfaatkan bahan organik sebagai makanan. Berbagai organisme di dalam tanah dapat memanfaatkan bahan organik sebagai makanan. Berbagai organisme itu di dalam tanah mempunyai fungsi penting yang beraneka ragam sifatnya.
- 4) Mengandung zat makanan tanaman. Berbagai zat makanan tanaman hanya sebagian dapat diserap oleh tanaman. Bagian yang penting daripadanya baru tersedia sesudah terurainya bahan organik itu. Pupuk organik biasanya menunjukkan pengaruh reaksi reaksi nitrogen yang jelas terlihat. Pengaruh dari fosfat dan kalium biasanya tidak begitu jelas Sludge yang telah menjadi pupuk dengan perlakuan khusus akan dimanfaatkan untuk menyuburkan tanah. Kesuburan tanah tentunya akan memancing tumbuhnya tanamantanaman hijau secara alami.

## KESIMPULAN

1. Pembangunan Biogas Komunal dipesantren Aceh Besar ini layak untuk dibangun dan akan sangat bermanfaat bagi pesantren dan juga masyarakat sekitarnya dari pupuk yang dihasilkan.
2. Untuk kebutuhan air bersih maka perlu dibangun Perpipaan dan Jaringan Distribusi Air Bersih
3. Type Digester yang sesuai untuk Biogas Komunal ini adalah type Digester dengan bentuk Kubah

## DAFTAR PUSTAKA

- Acaroglu, M., Aksoy, A. S., and Ogut, H. 1999. The potential of biomass and animal waste of Turkey and the possibilities of these as fuel in thermal generating stations. *Energy Sources* 21(4):339–345.
- AGI (Antares Group Incorporated), T. R. Miles Technical Consulting, Inc., and Foster Wheeler Development Corporation. 1999. *Economic and technical feasibility of energy production from poultry litter and nutrient filter biomass on the lower Delmarva Peninsula*. <http://www.nrbp.org>.
- Anonymous. 2000. *Application of Waste Product for Agricultural Purposes*, Danish Environmental Protection Agency. <http://www.ecop.ucl.ac.be/7aebiom/article/biogas/biogas2.htm>.
- Bilgin, N., Bilir, M., Deniz, Y., and Karabay, E. 2002. Biogas in Turkey. *Proceedings of Fourth National Clean Energy Symposium*. 16–18 October, Istanbul, Turkey, pp. 1035–1040 (in Turkish).
- Chambers, B. J., Lord, E. I., Nicholson, F. S., and Smith, K. A. 1999. Predicting nitrogen availability and losses following application of organic manures to arable land: MANNER. *Soil Use and Management* 15:137–143.
- Berglund, M., and Börjesson, P. 2006. Assessment of energy performance in the life-cycle of biogas production. *Biomass Bioenergy*. 30:254–266.
- Becker, C., Döhler, H., Eckel, H., Fröba, N., Georgieva T., and Grube, J. 2007. *Empirical Values for Biogas*. 1st Ed. Germany: Darmstadt.
- Cherubini, F., Birda, N., Cowie, A., Jungmeier, G., Schlamadinger, B., and WoessGallasch, S. 2009. Energy and greenhouse gas based LCA of biofuel and bioenergy systems: Key issues, ranges and recommendations. *Resour. Conserv. Recycl.* 53(8):434–447.
- Cropgen. 2007. An Overall Energy Balance for Energy Production Taking Into Account Energy Inputs Associated with Farming. University of Vienna. EU's 6th Framework Programm - Renewable energy from crops and agrowastes. Project no. SES6-CT-2004-50284, Vienna, Austria.
- Cropgen. 2007 b. Life Cycle Energy Balance on a Number of Crop Species. University of Vienna. EU's 6th Framework Programm- Renewable energy from crops and agrowastes. Project no. SES6-CT-2004-50284.
- Cvetković, S., Kaluđerović Radoičić, T., Vukadinović B., and Kijevčanin, M. 2014. Potentials and status of

- biogas as energy source in the Republic of Serbia. *Renew. Sustain Energy Rev.* 31:407–416.
- Eastern Research Group. 2011. Protocol for quantifying and reporting the performance of anaerobic digestion systems for livestock manures.
- Fuchsz, M., and Kohlheb, N. 2015. Comparison of the environmental effects of manure- and crop-based agricultural biogas plants using life cycle analysis. *J. Clean Prod.* 86:60–66.
- Gerin, P. A., Vliegen, F., and Jossar, J. M. 2008. Energy and CO<sub>2</sub> balance of maize and grass as energy crops for anaerobic digestion. *Bioresour. Technol.* 99:2620–2627.
- Hall, C. A. S., Balogh, S., and Murphy, D. J. R. 2009. What is the minimum EROI that a sustainable society must have? *Energies* 2:25–47.
- Havukainen, J. V., Uusitalo, V., Niskanen, A., Kapustina, V., and Horttanai, M. 2014. Evaluation of methods for estimating energy performance of biogas production. *Renew. Energy.* 66:232–240.
- Junus, M., 1987, *Teknik Membuat dan Memanfaatkan Unit Gas Bio*, Fakultas Peternakan Universitas Brawijaya, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Ludwig Sasse-Borda, 1988, *Biogas Plant Manual Book*, A Publication of the Deutsches Zentrum "Entwicklungstechnologien – GATE in: Deutsche Gesellschaft " Technische Zusammenarbeit (GTZ)
- Suyati, F., 2006, *Perancangan Awal Instalasi Biogas Pada Kandang Terpencar Kelompok Ternak Tani Mukti Andhini Dukuh Butuh Prambanan Untuk Skala Rumah Tangga*, Skripsi, Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Budiman, I (2019). Fragmented biogas governance in Indonesia. Wageningen University and Research. <https://fapet.ugm.ac.id/new/id/potensi-ekonomi-kotoran-sapi-rp-643-triliuntahun>.