



Pengaruh Jenis Limbah Organik dan Waktu Retensi terhadap Produksi Biogas dari Kotoran Sapi

Effect of the Type of Organic Waste and Retention Time on Biogas Production from Cow Dung

Oktavius Yoseph Tuta Mago^{1*}, M. A. Yohanita Nirmalasari², Agustina Dua Kuki³, Yohanes Nong Bunga⁴, Aljeffridus Misa⁵

^{1,4,5} *Program Studi Pendidikan Biologi, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Nusa Nipa Jl. Kesehatan No. 3, Maumere, Nusa Tenggara Timur 86111, Indonesia*

^{2,3} *Program Studi Pendidikan Kimia, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Nusa Nipa Jl. Kesehatan No. 3, Maumere, Nusa Tenggara Timur 86111, Indonesia*

Email: magoyotta@gmail.com

*Penulis Korespondensi

Abstract

Biogas is one of biofuel produced from anaerobic decomposition of organic matter by microorganisms. Organic waste as a by-product of our daily activities can be used as raw material to produce biogas. This research is aim to study the type of organic waste as a raw material to produce biogas and its retention time. Organic wastes that were used in this research are domestic waste, agriculture waste and industrial waste. As a control, the cow dung (starter) was used without organic waste addition. The testable retention times were 1st week until 9th week. The experimental design was Factorial Complete Randomized Design with confidence level of 95%. The result showed that all the type of organic waste can be used to produce biogas through anaerobic digestion. Statistically, the average volume of biogas produced from industrial waste per week, 5794,3 ml was significantly different from any other organic waste ($P=0,000$). The best retention time was found on 8th week with the average volume of biogas was 3675,6 ml ($P=0,006$). There was no interaction between these two factors ($P=0,1$). This research is expected to open the people's awareness about the management of useable organic waste as a raw material to produce biogas.

Keywords: Biofuel, Biogas, Anaerobic Digestion, Renewable Energy, Organic Waste, Retention Time

Abstrak

Biogas merupakan salah satu *biofuel* yang dihasilkan dari perombakan bahan organik secara anaerob oleh mikroorganisme. Bahah organik penghasil biogas dapat berasal dari limbah yang dihasilkan setiap hari. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji jenis limbah organik sebagai bahan baku biogas serta waktu retensi terbaik. Limbah organik yang digunakan adalah limbah rumah tangga, limbah pertanian dan limbah industri. Sebagai kontrol, digunakan kotoran sapi (*starter*) tanpa penambahan limbah organik. Waktu retensi yang diuji adalah minggu pertama sampai minggu ke-9. Rancangan percobaan yang digunakan adalah RAL Faktorial dengan taraf kepercayaan 95%. Hasil menunjukkan bahwa semua jenis limbah organik mampu menghasilkan biogas melalui digesti anaerob. Secara statistik, rerata volume biogas yang dihasilkan oleh limbah industri setiap minggu sebesar 5794,3 ml berbeda signifikan dengan yang dihasilkan oleh limbah lainnya ($P=0,000$). Waktu retensi terbaik ditemukan pada minggu ke-8 dengan rerata volume biogas yang dihasilkan sebesar 3675,6 ml ($P=0,006$). Tidak ditemukan pengaruh interaksi antara kedua faktor percobaan ($P=0,1$). Penelitian ini diharapkan mampu membuka kesadaran masyarakat tentang pengelolaan limbah organik agar dimanfaatkan sebagai bahan baku menghasilkan biogas.

Kata Kunci: Biofuel, Biogas, Digesti Anaerob, Energi Terbarukan, Limbah Organik, Waktu Retensi

Pendahuluan

Kebutuhan akan energi semakin meningkat seiring dengan pertambahan jumlah penduduk di Indonesia. Kergantungan masyarakat pada energi fosil sebagai bahan bakar utama mengakibatkan kelangkaan energi karena fosil tidak dapat diperbarui. Kompas Cyber (2011) menyatakan bahwa energi fosil semakin menipis dan diperkirakan akan habis dalam kurun waktu 3 dekade. Bahkan, Kementerian ESDM Indonesia (2013) menyatakan bahwa cadangan minyak di Indonesia akan habis dalam waktu 12 tahun. Di sisi lain, penggunaan energi fosil yang masif memberikan dampak negatif bagi lingkungan. Pembakaran bahan bakar fosil melepaskan CO₂ ke atmosfer, menyebabkan peningkatan gas rumah kaca dan mengakibatkan pemanasan global serta perubahan iklim (Tsai *et al.*, 2016). Oleh karena itu pengembangan energi alternatif sangat dibutuhkan.

Biogas merupakan salah satu energi alternatif yang dapat memenuhi kebutuhan energi terbarukan. Biogas dihasilkan dari penguraian bahan-bahan organik (biomassa) oleh mikroorganisme melalui proses fermentasi atau digesti tanpa oksigen (digesti anaerob) di dalam biodigester (Awe *et al.*, 2017). Biogas dapat dimanfaatkan sebagai pengganti gas elpiji untuk memasak, bahan bakar motor dan bahkan dapat digunakan untuk menghasilkan listrik. Sisa dari digesti anaerob dapat digunakan sebagai pupuk organik pada lahan pertanian dan perkebunan (Cristobal *et al.*, 2019; Wahyuni, 2013). Penggunaan biomassa sebagai bahan baku membuat biogas bersifat ramah lingkungan karena dapat mengurangi emisi CO₂.

Bahan organik yang digunakan sebagai bahan baku dapat berasal dari limbah rumah tangga, limbah pertanian dan limbah industri. Limbah rumah tangga berasal dari sisa aktivitas memasak, mencuci maupun sisa metabolisme manusia. Sisa hasil pertanian seperti jerami padi dan jagung banyak mengandung lignoselulosa dapat dijadikan bahan baku. Limbah dari industri pengolahan makanan juga dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan biogas. Penggunaan limbah sebagai bahan baku pembuatan biogas akan memberikan dampak positif bagi masalah pencemaran lingkungan.

Terkait dengan pemanfaatan limbah sebagai bahan baku pembuatan biogas, maka dilakukanlah penelitian ini dengan tujuan untuk mengetahui produksi biogas dari beberapa jenis bahan baku yang digunakan serta lama waktu retensi. Bahan baku yang baik dilihat dari besarnya volume biogas yang dihasilkan selama proses digesti anaerob. Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah rumah tangga berupa sisa makanan, limbah pertanian berupa batang dan daun jagung serta limbah industri tahu tempe. Penelitian ini diharapkan dapat mengurangi ketergantungan masyarakat terhadap bahan bakar fosil dan mulai beralih memanfaatkan biogas. Dengan memanfaatkan biogas, masyarakat turut mengambil bagian dalam upaya pengurangan pencemaran lingkungan, pembatasan emisi karbon dan menjaga iklim bumi.

Metode Penelitian

Persiapan Inokulum

Inokulum dibuat dari campuran kotoran sapi segar dan air dengan perbandingan 1:1. Campuran diaduk hingga homogen dan disimpan selama 7 hari dalam keadaan anaerob untuk menumbuhkan bakteri metanogen (Anggito, 2014).

Perancangan Digester

Sambil menunggu inokulum siap digunakan, digester dirancang berjenis *batch* menggunakan jerigen 30 liter. Selang gas dari digester disambungkan ke gelas ukur 1000 ml sebagai penampung gas sementara untuk mengukur volume biogas yang dihasilkan.

Persiapan Bahan Baku

Ada tiga jenis bahan baku yang digunakan, yaitu limbah rumah tangga (LRT), limbah pertanian (LPr) dan limbah industri (Lin). Limbah rumah tangga berupa sisa makanan baik yang belum maupun yang sudah diolah. Limbah pertanian berupa batang dan daun jagung, sedangkan limbah industri berupa campuran ampas tahu padat dan cair.

Digesti Anaerob

Volume inokulum, bahan baku dan air yang dimasukkan ke dalam digester adalah 3/4 dari volume digester (22,5 liter). Volume

inokulum dan bahan baku yang digunakan adalah 8 liter dan 3 liter, kemudian ditambahkan air 11,5 liter. Bahan-bahan ini dicampur hingga merata sebelum dimasukkan ke dalam digester. Digesti anaerob berlangsung selama 60 hari untuk menghasilkan biogas melalui proses metanogenesis (Marsudi, 2012).

Desain Percobaan

Desain yang digunakan adalah RAL Faktorial. Perlakuan A (Jenis Limbah Organik) = kontrol, limbah pertanian, limbah rumah tangga dan limbah industri. Perlakuan B (Waktu Produksi Gas Metan) = Minggu 1, Minggu 2, ..., Minggu 9. Pengulangan yang digunakan sebanyak 2 kali, sehingga diperoleh $4 \times 9 \times 2 = 72$ unit percobaan.

Pengukuran Variabel Pengamatan Biogas

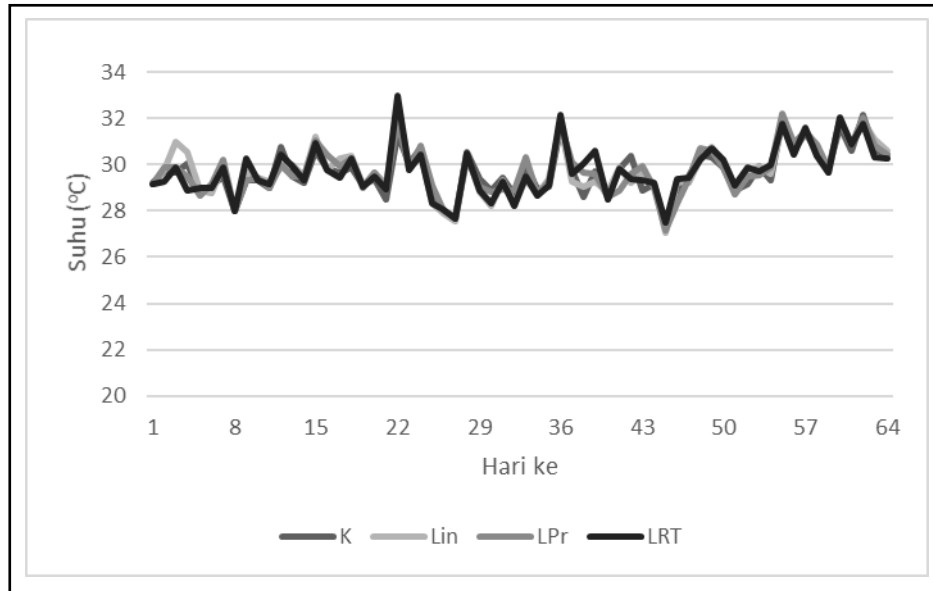
Variabel yang diukur dalam penelitian ini adalah suhu digester, volume biogas dan pembuktian biogas. Suhu digester diukur menggunakan termometer setiap hari,

sedangkan volume biogas dihitung menggunakan *water displacement method* (Ahamed et al., 2016). Pembuktian biogas dilakukan dengan pembakaran biogas yang ditampung setiap minggu pengamatan (Nisrina & Andarani, 2018).

Hasil dan Pembahasan

Pengamatan Suhu Digester

Selama sembilan minggu pengamatan, pengukuran suhu digester dilakukan setiap 24 jam sekali. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa terdapat fluktuasi suhu dari 27,5 – 33°C. Hal ini terjadi karena digester diletakkan di dalam laboratorium, sehingga dipengaruhi oleh suhu ruangan. Meskipun berfluktuasi, rentang suhu ini masih dikatakan normal dan sesuai dengan suhu yang disyaratkan dalam digesti anaerob untuk menghasilkan biogas (Ridhuan, 2016). Hasil pengukuran suhu digester ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Rerata suhu digester (K: Kontrol, Lin: Limbah Industri, LPr: Limbah Pertanian, LRT: Limbah Rumah Tangga)

Suhu merupakan salah satu faktor penting dalam menentukan produksi biogas. Faktor lingkungan ini mempengaruhi aktivitas metabolisme bakteri yang bekerja di dalam digester. Bakteri hanya dapat melakukan metabolisme secara maksimal saat berada pada suhu lingkungan yang optimum untuk

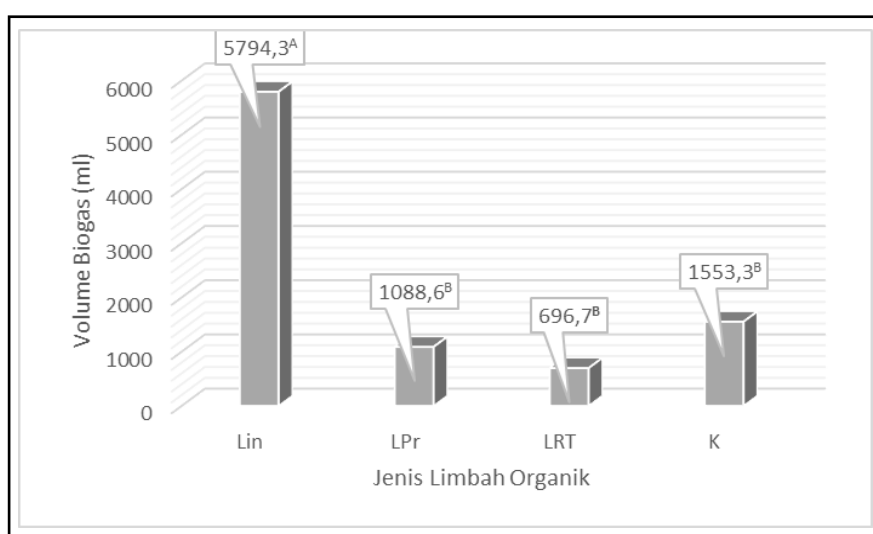
pertumbuhannya. Berdasarkan suhu yang diukur selama proses digesti anaerob, dapat disimpulkan bahwa jenis bakteri metanogen yang berada di dalam digester adalah mesofil. Bakteri kelompok ini mampu hidup dalam rentang suhu 8-48°C, namun memiliki suhu

optimum 35-39°C (Madigan *et al.*, 2015; Suyitno *et al.*, 2010).

Jenis Limbah Organik terhadap Produksi Biogas

Semua jenis limbah organik yang digunakan dalam penelitian ini mampu menghasilkan biogas. Hal ini menunjukkan bahwa limbah organik yang dihasilkan dari aktivitas sehari-hari masih dapat dimanfaatkan. Limbah rumah tangga berupa sisa makanan, sayuran dan buah-buahan dapat digunakan sebagai bahan baku untuk produksi biogas (Abimbola & Osokoya, 2014; Adamu, 2015;

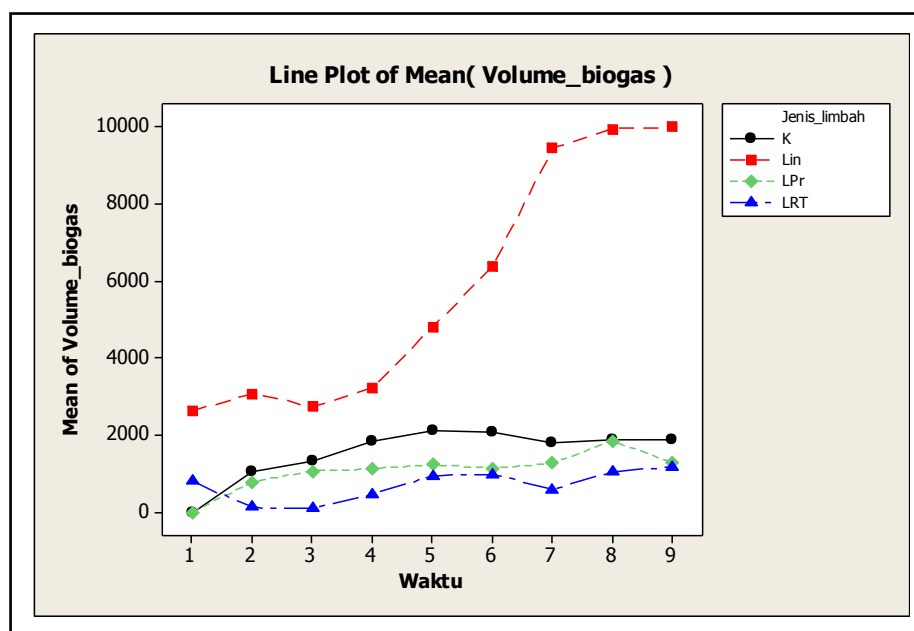
Mirmohamadsadeghi *et al.*, 2019; Morales-Polo *et al.*, 2019; Purnomo & Mahajoeno, 2010). Limbah pertanian berupa batang dan daun jagung telah dimanfaatkan sebagai bahan campuran kotoran sapi untuk menghasilkan biogas (Aknesa, 2018; Chairani, 2014). Limbah tahu cair maupun padat juga merupakan bahan baku yang baik untuk menghasilkan biogas (Ni'mah, 2014; Nisrina & Andarani, 2018; Ridhuan, 2016; Subekti, 2011; Utami & Muntini, 2010). Volume biogas yang dihasilkan oleh keempat jenis bahan organik ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Rerata volume biogas yang dihasilkan dalam satu minggu oleh keempat jenis limbah organik. (K: Kontrol, Lin: Limbah Industri, LPr: Limbah Pertanian, LRT: Limbah Rumah Tangga)

Bahan organik penghasil biogas terbanyak adalah limbah industri (Lin). Hasil statistik menunjukkan bahwa rerata volume biogas yang dihasilkan setiap minggu oleh limbah ini berbeda signifikan dengan limbah organik lainnya ($P=0,000$). Kandungan bahan organik limbah tahu yang cukup banyak menjadi sumber karbon dan energi bagi proses metabolisme bakteri. Limbah cair tahu mengandung protein (40-60%), karbohidrat (25-50%) dan lemak (10%) (Herlambang, 2002). Bahan organik ini dimanfaatkan secara langsung oleh bakteri fermentasi dan selanjutnya hasil fermentasi tersebut digunakan oleh bakteri asetonik untuk menghasilkan asam asetat. Asam asetat serta CO_2 yang dihasilkan kemudian dimanfaatkan oleh bakteri metanogen untuk memproduksi gas metan (CH_4) (Suyitno *et al.*, 2010).

Pada digester kontrol (K), tidak terdapat bahan baku yang dicampur dengan kotoran sapi. Hal ini mengakibatkan kurangnya bahan organik yang dirombak oleh bakteri fermentasi dan asetonik untuk menyediakan asam volatil dan CO_2 bagi bakteri metanogen. Sementara pada digester limbah pertanian (LPr) dan limbah rumah tangga (LRT), bahan organik yang terdapat di dalam bahan baku berupa selulosa dan pati dalam jumlah besar serta protein dan lemak dalam konsentrasi kecil. Selulosa dan pati harus terlebih dahulu mengalami proses hidrolisis menjadi gula sederhana sebelum dapat dimanfaatkan oleh bakteri fermentasi. Hal ini mengakibatkan waktu yang dibutuhkan untuk menghasilkan metan menjadi lebih lama. Produksi biogas setiap minggu ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Rerata volume biogas yang dihasilkan tiap minggu pengamatan (ml). (K: Kontrol, Lin: Limbah Industri, LPr: Limbah Pertanian, LRT: Limbah Rumah Tangga)

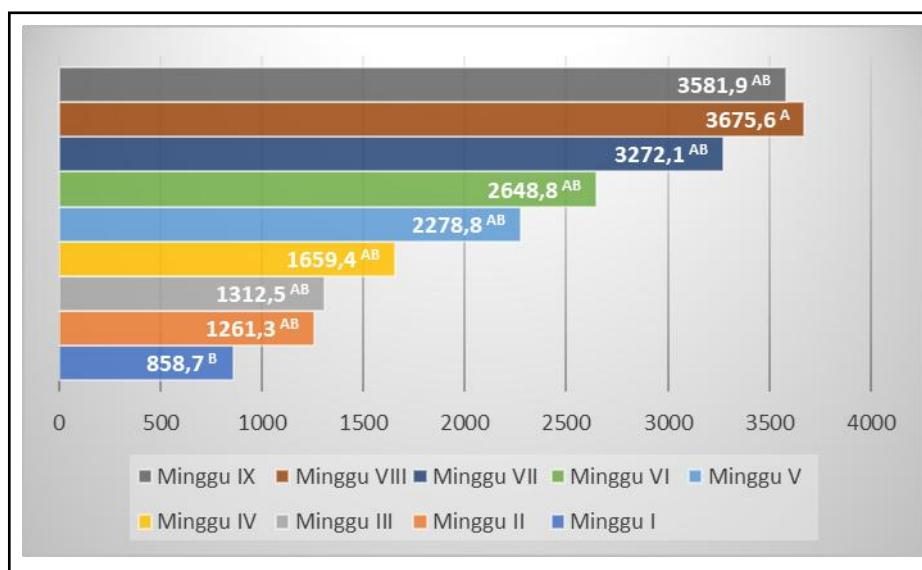
Gambar 3. menunjukkan bahwa pada tiga minggu pertama, biogas gas yang dihasilkan belum maksimal. Pada rentang waktu ini, bakteri berada dalam fase lag dan masih beradaptasi dengan medium pertumbuhannya. Pada minggu keempat, biogas yang dihasilkan oleh digester limbah industri mulai mengalami peningkatan dan mencapai puncak pada minggu kesembilan dengan rerata produksi biogas 9980 ml. Suyitno *et al.*, (2010) menyatakan bahwa lama waktu tinggal yang optimum untuk produksi biogas dari kotoran sapi adalah 30-60 hari. Pada tiga digester lainnya, rerata volume biogas yang dihasilkan hampir sama di setiap minggu pengamatan.

Sampai dengan minggu ketiga, tidak terdapat gas metan dalam biogas yang ditampung. Hal ini ditunjukkan oleh pembakaran biogas yang tidak mampu menghasilkan api sedikitpun. Ridhuan (2016) menyatakan bahwa gas yang dihasilkan sampai dengan hari kedelapan harus dibuang karena merupakan udara bebas yang terperangkap di dalam digester. Pembakaran biogas dari minggu keempat sampai minggu keenam menunjukkan bahwa gas metan mulai dihasilkan, namun konsentrasinya belum mencapai 50% dari total biogas. Hal ini ditunjukkan oleh belum stabilnya nyala api

yang muncul dari pembakaran. Biogas yang dihasilkan dari minggu ketujuh telah memiliki konsentrasi metan di atas 50%. Hal ini dilihat dari kualitas api biru yang dihasilkan dan kestabilan nyala api dari proses pembakaran biogas. Penelitian Iriani *et al.*, (2017) melaporkan bahwa sampai hari ke-28, dominasi gas yang diproduksi dalam digesti anaerob adalah CO_2 , sedangkan konsentrasi CH_4 mulai meningkat setelah hari ke-28. Peningkatan kandungan CH_4 dalam biogas disertai dengan penurunan produksi gas CO_2 . Ritonga dan Masrukhi (2017) juga menyatakan bahwa kandungan metana yang rendah memiliki kualitas nyala api yang rendah pula, sedangkan biogas dengan kandungan metana di atas 50% memiliki nyala api yang berkualitas.

Waktu Retensi terhadap Produksi Biogas

Waktu retensi atau waktu tinggal bahan baku di dalam digester merupakan faktor lain yang menentukan jumlah biogas yang dihasilkan. Lama waktu retensi yang dianjurkan adalah 60 sampai 80 hari (Suyitno *et al.*, 2010). Dalam penelitian ini, waktu digesti anaerob yang digunakan adalah sampai minggu ke-9 (63 hari). Produksi biogas yang optimum untuk semua jenis perlakuan adalah minggu ke-8 (Gambar 4.).



Gambar 4. Rerata volume biogas (ml) yang dihasilkan di setiap minggu pengamatan

Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa produksi biogas di minggu ke-8 berbeda nyata dengan minggu yang lain ($P=0,006$). Pada minggu ini, rerata volume biogas yang dihasilkan oleh keempat jenis limbah organik sebesar 3675,6 ml. Penelitian Kamal (2019) menggunakan waktu retensi hingga 80 hari dan memperoleh konsentrasi CH_4 tertinggi terdapat pada hari ke-80. Sedangkan penelitian Iriani *et al.*, (2017) menggunakan waktu retensi hingga 50 hari dan mencatat bahwa produksi biogas tertinggi terjadi pada hari ke-22. Jenis bahan baku biogas menentukan lama waktu retensi. Semakin kompleks bahan baku, semakin lama waktu yang dibutuhkan bakteri anaerob untuk merombaknya. Gas metan dalam biogas dihasilkan melalui empat tahapan, yaitu hidrolisis, asidogenesis, asetogenesis dan metanogenesis (Ezekoye *et al.*, 2011; Morales-Polo *et al.*, 2019; Ni'mah, 2014; Wahyuni, 2013). Hidrolisis bahan organik kompleks memakan waktu yang relatif lama. Dalam penelitian ini, butuh waktu 8 minggu untuk keempat proses ini berjalan dengan optimal, sehingga pada waktu ini gas metan dihasilkan dalam jumlah besar.

Simpulan

Suhu digester selama proses digesti anaerob berkisar antara 27,5 – 33°C. Suhu ini masih dianggap wajar untuk proses fermentasi

oleh bakteri mesofil, meskipun suhu optimum bagi bakteri metanogen mesofil adalah 35°C. Jenis limbah organik yang menghasilkan paling banyak biogas adalah limbah industri yang terdiri dari limbah tahu padat dan cair dengan volume rerata setiap minggu sebesar 5794,3 ml. Waktu retensi terbaik yang menghasilkan biogas dalam jumlah paling banyak adalah minggu ke-8 dengan volume rerata sebesar 3675,6 ml. Perlu ada penelitian lanjutan untuk mengamati produksi biogas hingga hari ke-80, karena sampai hari terakhir pengamatan produksi biogas pada digester limbah industri masih mengalami peningkatan. Inokulum / starter masih bisa diganti menggunakan jenis kotoran ternak yang lain.

Ucapan Terima Kasih

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Yayasan Pendidikan Tinggi Nusa Nipa yang telah membiayai penuh penelitian ini. Terima kasih kepada LP2M Universitas Nusa Nipa atas kerjasama dan mendukung kelancaran penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Abimbola, O. O., & Osokoya, O. O. (2014). Evaluation of Biogas Production from Food Waste. *The International Journal Of Engineering And Science (IJES)*, 3(01), 1–7.

- Adamu, A. (2015). Effect of Substrate on Biogas Yield. *Global Journal of Engineering Research*, 13(1), 35. <https://doi.org/10.4314/gjer.v13i1.4>
- Ahamed, J. U., Hossain, Md. S., Rahman, M. M., & Salam, B. (2016). Production of Biogas from Anaerobic Digestion of Poultry Droppings and Domestic Waste using Catalytic Effect of Silica Gel. *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, 13(2), 3503–3517. <https://doi.org/10.15282/ijame.13.2.2016.17.0289>
- Aknesa, S. (2018, October 3). *Produksi Biogas Dari Campuran Tongkol Jagung (Zea mays L.) Dengan Kotoran Sapi* [Skripsi]. FAKULTAS PERTANIAN. <http://digilib.unila.ac.id/33683/>
- Anggito, T. A. (2014). *Studi Pembangkitan Energi Listrik Berbasis Biogas* [Laporan Proyek Akhir, Univeritas Pendidikan Indonesia]. <http://repository.upi.edu>
- Awe, O. W., Zhao, Y., Nzihou, A., Minh, D. P., & Lyczko, N. (2017). A Review of Biogas Utilisation, Purification and Upgrading Technologies. *Waste and Biomass Valorization*, 8(2), 267–283. <https://doi.org/10.1007/s12649-016-9826-4>
- Chairani, S. (2014). Anaerobik Co-digesi Limbah Tanaman Jagung (*Zea mays*) dan Digested Manure Sapi Terhadap Peningkatan Produksi Biogas Sebagai Energi Terbarukan dengan Menggunakan Reaktor Mesophilic. *Prosiding Seminar Nasional PERTETA dan HIPI*, 10.
- Cristobal, A. D. L., Inocencio, J. E. C., Leyson, A. L., Mendiola, C. A. D., & Nicolas, J. E. (2019). The Effectiveness of Generating Electricity from Biogas Created from Food Wastes With the Use of Peltier Diode as A New Source of Renewable Energy. *Renewable Energy*, 3.
- Ezekoye, V. A., Ezekoye, B. A., & Offor, P. O. (2011). Effect of Retention Time on Biogas Production from Poultry Droppings and Cassava Peels. *Nig J. Biotech*, 22, 53–59.
- Herlambang, A. (2002). *Teknologi Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu*. Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi Lingkungan (BPPT) dan Bapedal. <http://www.kelair.bppt.go.id/Publikasi/BukuLimbahCairIndustri/02tempe.pdf>
- Iriani, P., Suprianti, Y., & Yulistiani, F. (2017). Fermentasi Anaerobik Biogas Dua Tahap Dengan Aklimatisasi dan Pengkondisian pH Fermentasi. *Jurnal Teknik Kimia dan Lingkungan*, 1(1), 1. <https://doi.org/10.33795/jtkl.v1i1.16>
- Kamal, N. (2019). Kajian Pengaruh Media Penambat Pada Reaktor Biogas Fluidized Bed. *Jurnal Teknologi*, 1(33), 22.
- Kementerian ESDM Indonesia. (2013). *Kajian Supply demand energy*. Pusat Data Teknologi Informasi Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Kompas Cyber. (2011). *Bahan Bakar Fosil Habis 30 tahun Lagi*. KOMPAS.com. <https://money.kompas.com/read/2011/07/27/20141288/Bahan.Bakar.Fosil.Habis.30.tahun.Lagi>
- Madigan, M. T., Martinko, J. M., Bender, K. S., Buckley, D. H., & Stahl, D. A. (2015). *Brock Biology Of Microorganisms* (14th ed.). Pearson Education, Inc.
- Marsudi, M. (2012). Produksi Biogas dari Limbah Rumah Tangga sebagai Upaya Mengatasi Krisis Energi dan Pencemaran Lingkungan. *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 1(2). <https://doi.org/10.24127/trb.v1i2.650>
- Mirmohamadsadeghi, S., Karimi, K., Tabatabaei, M., & Aghbashlo, M. (2019). Biogas Production from Food Wastes: A Review on Recent Developments and Future Perspectives. *Bioresource Technology Reports*, 7, 100202. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2019.100202>
- Morales-Polo, C., Cledera-Castro, M. del M., & Soria, B. Y. M. (2019). Biogas Production from Vegetable and Fruit Markets Waste—Compositional and Batch Characterizations. *Sustainability*, 11(23), 6790. <https://doi.org/10.3390/su11236790>
- Ni'mah, L. (2014). Biogas from Solid Waste of Tofu Production and Cow Manure Mixture: Composition Effect. *CHEMICA: Jurnal Teknik Kimia*, 1(1), 1. <https://doi.org/10.26555/chemica.v1i1.500>
- Nisrina, H., & Andarani, P. (2018). Pemanfaatan Limbah Tahu Skala Rumah Tangga Menjadi Biogas sebagai Upaya Teknologi Bersih di Laboratorium Pusat Teknologi Lingkungan. *Jurnal Presipitasi : Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, 15(2), 139. <https://doi.org/10.14710/presipitasi.v15i2.139-140>
- Purnomo, A., & Mahajoeno, E. (2010). Produksi Biogas dari Limbah Makanan melalui

- Peningkatan Suhu Biodigester Anaerob. *Proceeding Biology Education Conference: Biology, Science, Enviromental, and Learning*, 7(1).
<https://jurnal.uns.ac.id/prosbi/article/view/5980>
- Ridhuan, K. (2016). Pengolahan Limbah Cair Tahu Sebagai Energi Alternatif Biogas yang ramah lingkungan. *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 1(1).
<https://doi.org/10.24127/trb.v1i1.81>
- Ritonga, A. M., & Masrukhi, M. (2017). Optimasi Kandungan Metana (CH₄) Biogas Kotoran Sapi Menggunakan Berbagai Jenis Adsorben. *Jurnal Rona Teknik Pertanian*, 10(2).
<https://doi.org/10.17969/rtp.v10i2.8493>
- Subekti, S. (2011). Pengelolaan Limbah Cair Tahu Menjadi Biogas sebagai Bahan Bakar Alternatif. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi ke-2 Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang*. Seminar Nasional Sains dan Teknologi ke-2 Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang, Semarang.
- Suyitno, S., Sujono, A., & Dharmanto, D. (2010). *Teknologi Biogas: Pembuatan, Operasional dan Pemanfaatan*. Graha Ilmu.
- Tsai, D. D.-W., Ramaraj, R., & Chen, P. H. (2016). Carbon Dioxide Bio-Fixation by Algae of High Rate Pond on Natural Water Medium. *Ecological Engineering*, 92, 106–110.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.03.021>
- Utami, A. R. I., & Muntini, M. S. (2010). Analisis Peran Limbah Cair Tahu dalam Produksi Biogas. *Seminar Nasional X Pendidikan Biologi FKIP UNS*. Seminar Nasional X Pendidikan Biologi FKIP UNS, Surakarta.
- Wahyuni, S. (2013). *Panduan Praktis Biogas*. Penebar Swadaya Grup.