

Research Article

Produksi Biogas dari Jerami Padi Menggunakan Cairan Rumen dan Kotoran Sapi

Biogas Production from Rice Straw Using Rumen Fluid and Cow Dung

Hasrul Anwar^{1*}, Tri Widjaja², Danawati Hari Prajitno²

¹Universitas Lampung, Teknik Kimia, Indonesia

²Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Teknik Kimia, Indonesia

*correspondence email: hasrul.anwar@eng.unila.ac.id

Received: 05/09/2020; Revised: 04/03/2021; Accepted: 05/03/2021;

doi: 10.25273/cheesa.v4i1.7406.1-10

Abstrak

Jerami padi adalah salah satu limbah pertanian yang melimpah di Indonesia yang dapat digunakan sebagai sumber lignoselulosa untuk produksi biogas. Salah satu metode untuk meningkatkan produksi biogas adalah dengan menambahkan cairan rumen dan kotoran sapi. Penelitian ini membandingkan produksi biogas pada cairan rumen sapi (JP-R) dan campuran cairan rumen dan kotoran sapi (JP-RKS). Percobaan ini dilakukan dalam reaktor *batch* anaerob selama 30 hari dengan volume kerja 3,6 L pada suhu mesofilik. Parameter yang diukur pada penelitian ini seperti asam lemak volatil (VFA), *Chemical Oxygen Demand* (COD), total padatan (TS), volatil padatan (VS), dan komposisi biogas. COD JP-R dan JP-RKS masing-masing adalah 54,21 % dan 49,44%. *Yield* metana untuk JP-R dan JP-RKS masing-masing adalah 0,48 Nm³/kgCOD_{removal} dan 0,015 Nm³/kgCOD_{removal}. Komposisi biogas pada JP-R adalah 47,97% CH₄, 7% CO₂ dan 0,44% H₂, sedangkan pada JP-RKS komposisi biogas adalah 23,34% CH₄, 10,06% CO₂, dan 0,39% H₂.

Kata kunci: Asam lemak volatil; biogas; cairan rumen; jerami padi; kotoran sapi.

Abstract

Rice straw is one of the abundant agricultural wastes in Indonesia which can be used as a source of lignocellulose for biogas production. One method to improve the production of biogas is by adding rumen fluid and cow dung. This study compared the production of biogas in rumen fluid (JP-R) and a mixture of rumen fluid and cow dung (JP-RKS). This experiment was carried out in an anaerobic batch reactor for 30 days with a working volume of 3.6 L at mesophilic temperature. The parameters measured in this study were volatile fatty acids (VFA), Chemical Oxygen Demand (COD), total solids (TS), volatile solids (VS), and biogas composition. JP-R and JP-RKS COD are 54.21% and 49.44%, respectively. Yield of methane production for JP-R and JP-RKS were 0.48 Nm³/kgCOD_{removal} and 0.015 Nm³/kgCOD_{removal} respectively. The composition of biogas in JP-R was 47.97% CH₄, 7% CO₂, and 0.44% H₂, whereas in JP-RKS, the composition of biogas was 23.34% CH₄, 10.06% CO₂, and 0.39% H₂.

Keywords: Biogas; cow dung; rice straw; rumen fluid; volatile fatty acid.

Produksi Biogas dari Jerami Padi Menggunakan Cairan Rumen dan Kotoran Sapi

1. Pendahuluan

Pemanfaatan energi terbarukan semakin meningkat seiring dengan menipisnya cadangan minyak bumi, meningkatnya populasi manusia, dan adanya tujuan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca (GRK). Salah satu energi alternatif untuk memecahkan masalah di atas adalah pemanfaatan sumber daya yang selama ini belum dikelola secara maksimal khususnya di bidang pertanian. Biogas memiliki beberapa manfaat diantaranya mengurangi pencemaran air dan tanah, produksi pupuk organik, dan mendorong siklus perekonomian dan ramah lingkungan [1].

Bahan bakar turunan biomassa, khususnya biofuel gas, menawarkan pengurangan emisi GRK jauh lebih besar daripada biofuel cair karena keseimbangan energinya yang besar dan memiliki pengaruh yang sangat signifikan terhadap industri transportasi di masa yang akan datang [2]. Biogas memiliki beberapa kelebihan, selain merupakan bahan bakar yang ramah lingkungan, tetapi juga menghasilkan berbagai jenis pupuk yang berkualitas tinggi [3].

Biogas merupakan energi terbarukan yang terdiri dari metana (CH₄) sekitar (40-65% v/v), karbon dioksida (CO₂) (35-55% v/v), dan hidrogen sulfida (H₂S) sekitar (0,1-3% v/v) [4]. Biogas diproduksi dalam digester anaerobik dari bahan baku organik melalui suatu proses yang dimediasi oleh mikroba. Proses produksi biogas terdiri dari empat fase, yaitu hidrolisis, asidogenesis, asetogenesis, dan metanogenesis [5].

Saat ini, berbagai jenis limbah biomassa (misalnya limbah makanan, limbah lumpur, kotoran ternak, dan jerami) telah digunakan sebagai bahan baku untuk menghasilkan produk bernilai tambah,

seperti biogas [6], pupuk hayati [7,8], bioetanol, dan biodiesel [9]. Jerami dianggap sebagai bahan baku yang menjanjikan untuk mengatasi permasalahan pemenuhan energi karena ketersediaannya yang besar [10].

Menurut FAO, jumlah panen padi pada tahun 2017 sekitar 770 ton, meningkat 1,5% dari biasanya. Oleh karena itu, produk samping seperti jerami padi juga meningkat signifikan. Jerami padi merupakan salah satu limbah lignoselulosa yang paling melimpah di dunia. Oleh karena itu, jerami padi adalah pilihan yang tepat untuk produksi biofuel di masa depan [11].

Cairan rumen mengandung 2×10^{15} bakteri dan 1 miliar protozoa. Banyak diantara bakteri tersebut adalah mikroorganisme selulolitik anaerobik yang mampu menghidrolisis selulosa dengan efisiensi yang tinggi. Mikroorganisme rumen mampu mendegradasi biomassa lignoselulosa menjadi produk antara (VFA) dan bioenergi (CH₄) dalam kondisi anaerobik. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa cairan rumen mampu menghidrolisis lignoselulosa biomassa dengan efisiensi tinggi [12-14]. Penelitian telah menunjukkan bahwa lebih dari 90% lignoselulosa dapat didegradasi dan dikonversi menjadi asam lemak rantai pendek dan protein mikroba oleh bakteri rumen [15,16]. Henderson *dkk.* [17] menemukan bahwa bakteri rumen terdiri dari *Butyrivibrio*, *Prevotella*, *Ruminococcus*, *unclassified Lachnospiraceae*, *Ruminococcaceae*, dan *Bacteroidales*.

Kotoran sapi mengandung sedikit selulosa, lignoselulosa, lignin, dan komponen organik yang baik untuk pertumbuhan bakteri dalam produksi biogas [18] Kotoran sapi mengandung bakteri dan mikroorganisme sebagai

Produksi Biogas dari Jerami Padi Menggunakan Cairan Rumen dan Kotoran Sapi

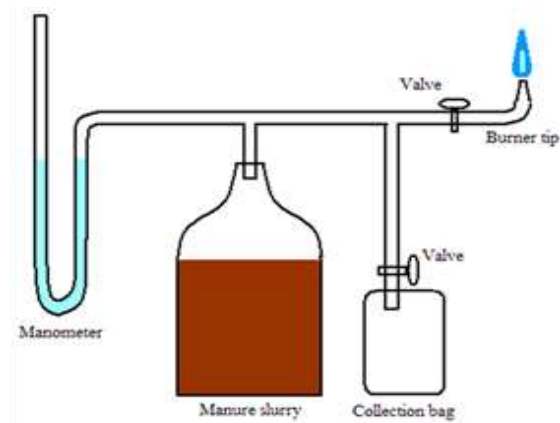
berikut: *Clostridium*, *Bacteroides*, *Bifidobacterium*, *Enterobacteriaceae* (*E. Coli*), dan *Ruminococcus* [19].

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan produksi biogas dari jerami padi menggunakan cairan rumen dan cairan rumen-kotoran sapi.

2. Metode Penelitian

2.1 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Autoclave* (Astell Scientific), *Hot plate & stirrer* (Snijders), *water bath*, *Spectrophotometer* (Cecil), *Analytical balance* (Ohaus), *Incubator* (Incucell), *Furnance Lin High Therm VMK 135* Germany, *Oven* (VWR Scientific 1350 G), *vortex* (VM-300), *Vacuum pump* (Weich), rangkaian alat reaktor *batch* seperti terlihat pada Gambar 1, manometer, *gas chromatography* (*Hewlett Packard*), tabung COD, reaktor COD, dan *gas chromatography* (*GC-2010 Plus-SHIMADZU*).



Gambar 1. Rangkaian Reaktor *Batch*

Bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah jerami padi yang diperoleh dari lahan pertanian di Desa Sumenep, Madura. Cairan rumen dan kotoran sapi diperoleh dari RPH (Rumah Potong Hewan) Jl. Pegirian Kelurahan Semampir, Surabaya. Cairan rumen

didapatkan dengan memeras isi rumen, kemudian ditempatkan di dalam termos yang telah dipanaskan terlebih dahulu pada suhu 39 °C. Selanjutnya cairan rumen disaring dengan kain kasa dan ditampung di dalam wadah yang telah ditempatkan di dalam *water bath* pada suhu 39 °C.

Kotoran sapi diambil sebanyak 3 kg kemudian dimasukkan ke dalam wadah yang kedap udara. Kotoran sapi yang didapatkan diencerkan dengan *aquadest* dengan perbandingan 1:3, kemudian disaring menggunakan kain kasa untuk selanjutnya dimasukkan ke dalam digester sesuai dengan volume yang telah ditentukan yaitu 15% dari volume kerja reaktor. Selain itu digunakan juga CH_3COONa , NH_4Cl , KH_2PO_4 , $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, Fe-EDTA , $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, NaOH , H_2SO_4 , *yeast extract*, glukosa, dan etanol.

2.2 Analisis Kadar Lignoselulosa

Analisis kadar selulosa dilakukan untuk menentukan konsentrasi awal selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Pada penelitian ini analisa selulosa, hemiselulosa, dan lignin menggunakan metode Chesson.

2.2.1 Kadar Hemiselulosa

Kandungan hemiselulosa dianalisa dengan metode Chesson [20], yaitu dengan mencampurkan 1-2 gram sampel dengan 150 mL air destilat, kemudian dipanaskan pada suhu 100 °C selama 2 jam, kemudian disaring menggunakan kertas saring dan terakhir dibilas dengan air destilat, kemudian bagian padatan dikeringkan di dalam oven pada suhu 105 °C hingga beratnya konstan (a). Selanjutnya sampel dicampur dengan 150 mL H_2SO_4 1 N, kemudian sampel dipanaskan pada suhu 100 °C selama 1 jam, difiltrasi dengan

Produksi Biogas dari Jerami Padi Menggunakan Cairan Rumen dan Kotoran Sapi

kertas saring dan terakhir dibilas dengan air destilat. Kemudian bagian padatan dikeringkan di dalam oven pada suhu 105 °C sampai konstan dan ditimbang beratnya (b). Kadar hemiselulosa dihitung menggunakan persamaan (1).

$$\text{Kadar Hemiselulosa (\%)} = \frac{b-c}{a} \times 100\% \text{ .(1)}$$

Keterangan:

- Penurunan berat kering sampel biomassa lignoselulosa
- Penurunan berat kering residu sampel refluks dengan air panas
- Penurunan berat kering residu sampel setelah direfluks dengan 0,5 M H₂SO₄

2.2.2 Kadar Selulosa

Kadar selulosa dianalisis dengan metode Chesson. Sampel yang telah dikeringkan pada analisa hemiselulosa (b) dicampur dengan larutan H₂SO₄ 72% (v/v) sebanyak 10 mL pada suhu kamar selama 4 jam, kemudian H₂SO₄ diencerkan hingga konsentrasinya 0,5 M. Kemudian sampel direfluks pada suhu 100 °C selama 2 jam. Kadar selulosa dihitung menggunakan persamaan (2).

$$\text{Kadar Selulosa (\%)} = \frac{c-d}{a} \times 100\% \text{(2)}$$

Keterangan:

- Penurunan berat kering sampel biomassa lignoselulosa
- Penurunan berat kering residu sampel setelah direfluks dengan 0,5 M H₂SO₄
- Penurunan berat kering residu sampel setelah dicampur dengan 72% H₂SO₄ dan kemudian diencerkan menjadi 4% H₂SO₄

2.2.3 Kadar Lignin

Kadar lignin dianalisis dengan metode Chesson. Sampel yang telah dikeringkan pada analisa selulosa (c) difiltrasi menggunakan kertas saring, kemudian dibilas dengan air destilat. Selanjutnya, bagian padatan dikeringkan di dalam oven pada suhu 105 °C hingga

beratnya konstan (d). Kadar selulosa dihitung menggunakan persamaan (3).

$$\text{Kadar Lignin (\%)} = \frac{d-e}{a} \times 100\% \text{ (3)}$$

Keterangan:

- Penurunan berat kering sampel biomassa lignoselulosa
- Penurunan berat kering residu sampel setelah dicampur dengan 72% H₂SO₄ dan kemudian diencerkan menjadi 4% H₂SO₄
- Abu dari residu sampel

2.3 Produksi Biogas

Produksi biogas melalui proses anaerobik yang dilakukan dalam reaktor *batch* dengan volume 6 L dengan volume kerja 3,6 L. Variabel penelitian ini adalah cairan rumen sapi (JP-R) dan campuran cairan rumen dan kotoran sapi (JP-RKS). Volume cairan rumen dan campuran cairan rumen-kotoran sapi yang digunakan pada penelitian ini masing-masing sebesar 15% dari volume kerja reaktor yaitu 0,54 L. *Starter* dimasukkan ke dalam erlenmeyer 500 ml, kemudian ditambahkan 2 g/l CH₃COONa, 4 g/L NH₄Cl, 0,06 g/L KH₂PO₄, 0,025 g/L CaCl₂, 0,005 g/L NiCl₂, 0,005 g/L MnCl₂, 0,005 g/L CoCl₂, 0,1 g/L *yeast extract*, dan 0,025 g/L MgCl₂. Parameter yang diukur dalam penelitian ini adalah COD, asam lemak volatil (VFA), total padatan (TS), padatan volatil (VS), dan komposisi biogas.

2.4 Analisis COD, TS, dan VS

Analisis COD, TS, dan VS dilakukan setiap tiga hari selama proses fermentasi selama 30 hari.

2.4.1 Chemical Oxygen Demand (COD)

COD diukur dengan menambahkan larutan *digestion* (K₂Cr₂O₇) dengan 3,5 mL larutan H₂SO₄ dalam tabung COD, kemudian dihomogenkan (larutan menjadi panas), dibiarkan mengendap, kemudian

Produksi Biogas dari Jerami Padi Menggunakan Cairan Rumen dan Kotoran Sapi

tambahkan 2,5 mL air destilasi sebagai blanko, homogenkan, kemudian dipanaskan pada suhu 148 °C selama 2 jam dengan menggunakan reaktor COD, biarkan sampai suhu kamar dan ukur dengan *spectrophotometer* pada panjang gelombang 620 nm.

2.4.2 Total Solid (TS)

Total Solid diidentifikasi sebagai jumlah padatan dalam bahan organik. Nilai TS dipengaruhi oleh lamanya proses fermentasi. Analisis TS dilakukan dengan memasukkan sampel 10 mL ke dalam cawan porselen, kemudian dipanaskan di dalam oven pada suhu 130 °C selama 4 jam, kemudian cawan tersebut ditimbang. Total padatan dapat ditentukan dengan menghitung perbedaan berat sampel sebelum dan sesudah pemanasan.

2.4.3 Volatile solid (VS)

Volatile solid adalah bagian padat yang berubah menjadi fase gas pada tahap pengasaman dan metanogenesis. *Volatile solid* menunjukkan berapa banyak bahan organik yang dapat dikonversi menjadi biogas. Analisis VS dilakukan dengan memasukkan sampel sebanyak 5 mL ke dalam cawan yang telah ditimbang. TS kemudian dipanaskan kembali di dalam *muffle furnace* pada suhu 550 °C selama 2 jam. Setelah itu cawan porselen didinginkan hingga mencapai suhu kamar dan ditimbang kembali beratnya (*EPA Method 1684, 2001*).

2.5 Analisis VFA, CH₄, H₂ dan CO₂

Untuk analisa kandungan VFA, sampel *slurry* diambil melalui *sampling valve* digester dengan menggunakan *syringe* dan selang kemudian ditampung ke dalam *eppendoff* 1,5 mL, kemudian dihomogenkan dengan

centrifuge untuk memisahkan filtrat dan endapan. Filtrat kemudian di analisis dengan menggunakan *Gas Chromatography* (GC) HP-6890 pada kondisi operasi oven dengan temperatur awal 170 °C selama 18,57 menit. Kondisi operasi *injector* dengan temperatur awal 275 °C, tekanan 17,21 psi dan menggunakan Helium sebagai gas pembawa.

Metana (CH₄) dianalisa menggunakan kromatografi gas (Hewlett Packard, USA) dengan detektor ionisasi nyala (FID). Kromatografi menggunakan kolom Agilent 19095P-Q04 HP Plot Q untuk menentukan metana dalam campuran sebagai fungsi dari waktu *digestion*. Suhu *port* FID, oven dan *injector* masing-masing 280 °C, 150 °C, dan 275 °C. *Flowrate* 30 mL/menit. Helium digunakan sebagai gas pembawa. Persentase volume CH₄ dihitung dengan nilai interpolasi dari kurva kalibrasi yang diperoleh dengan CH₄ ultra murni. Sampel biogas dianalisis dengan mengumpulkan gas di *venojeck* dan menyuntikkan ke kolom dengan jarum suntik. Gas H₂ dan CO₂ dianalisis dengan menggunakan kromatografi gas (GC-2010 plus, Shimadzu, Jepang) yang dilengkapi dengan detektor konduktivitas termal (TCD). Nitrogen digunakan sebagai gas pembawa dengan waktu tinggal 6 menit dan volume injeksi adalah 0,2 mL.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Komposisi Lignoselulosa Jerami Padi

Komposisi lignoselulosa pada jerami padi dalam penelitian ini memiliki komposisi sebagaimana tercantum dalam Tabel 1. Hasil menunjukkan bahwa komposisi jerami padi dalam penelitian ini berbeda dengan hasil Garrote *dkk.* [21], yaitu mengandung selulosa (32-47%), hemiselulosa (19-27%), dan lignin (5-24%).

Produksi Biogas dari Jerami Padi Menggunakan Cairan Rumen dan Kotoran Sapi

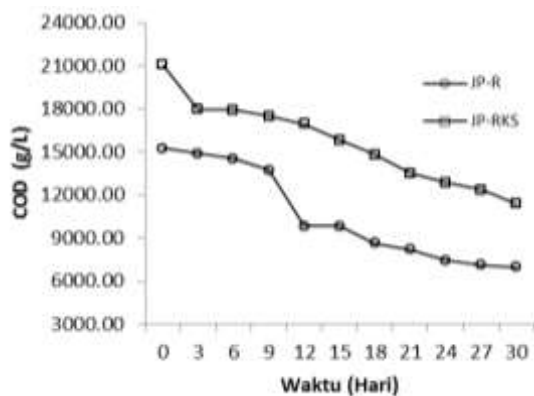
Perbedaan komposisi jerami padi disebabkan oleh perbedaan kadar abu dan pengaruh relativitas hasil ekstraksi oleh air panas pada saat analisa. Perbedaan komposisi juga bergantung pada berbagai faktor, termasuk iklim dan budidaya tanaman [22,23].

Tabel 1. Komposisi Lignoselulosa Jerami Padi

Komponen	Persentase
Selulosa	62,80%
Hemiselulosa	26,07%
Lignin	3,74%

3.2 Chemical Oxygen Demand (COD)

Hasil analisis COD ditunjukkan pada Gambar 2. Penurunan COD pada masing-masing perlakuan yaitu JP-R sebesar 54,21% dan JP-RKS sebesar 49,44%. Berdasarkan hasil analisis, COD mengalami penurunan setiap 3 hari baik JP-R dan JP-RKS. Hal ini menunjukkan bahwa biogas diproduksi.



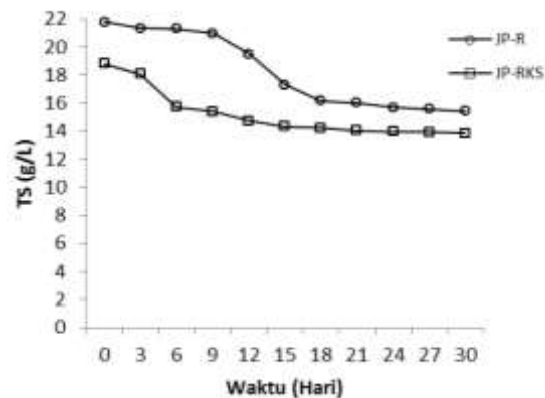
Gambar 2. Nilai COD pada JP-R dan JP-RKS

3.3 Total Solid (TS) dan Volatile Solid (VS)

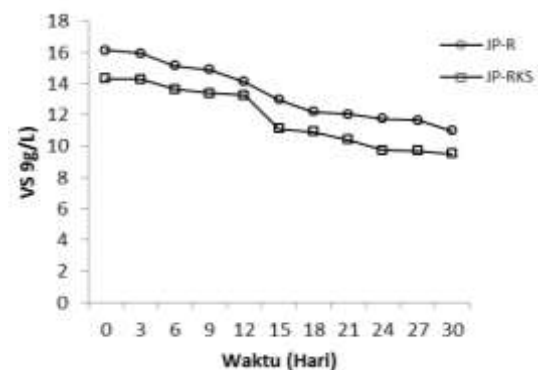
Berdasarkan hasil analisis TS dan VS pada Gambar 2 dan 3 dapat diketahui bahwa nilai TS dan VS pada JP-R dan JP-RKS menurun secara signifikan yaitu sebesar 29,09% dan 31,91% untuk JP-R, 26,28% dan 30,07% untuk JP-RKS dari awal fermentasi anaerobik karena proses

degradasi senyawa organik menjadi monosakarida, asam amino, alkohol, asam volatil karboksilat, asam hidroksi, keton, CO₂ dan H₂ [24].

Proses degradasi senyawa organik dibantu oleh bakteri seperti *bactericides*, *clostridia* dan fakultatif anaerobik seperti *streptococcus* [25]. Nilai TS dan VS dipengaruhi oleh peningkatan pertumbuhan mikroorganisme dari senyawa organik yang terdegradasi. Setelah hari ke-15, nilai TS dan VS menurun secara konstan untuk kedua perlakuan. Penurunan nilai TS dan VS pada JP-R lebih besar dibandingkan JP-RKS. Penurunan nilai TS dan VS pada JP-R yaitu 29,09% dan 31,91%, sementara nilai TS dan VS pada JP-RKS masing-masing adalah 26,28% dan 30,07% selama waktu fermentasi anaerobik 30 hari.



Gambar 3. Nilai TS pada JP-R dan JP-RKS



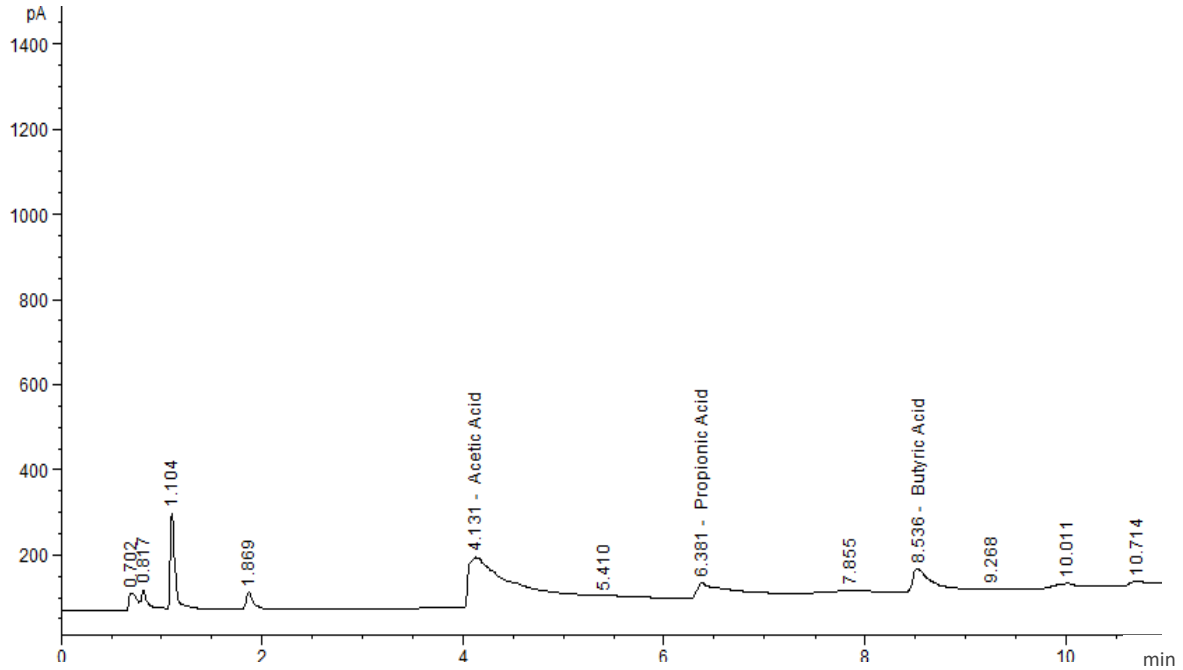
Gambar 4. Nilai VS pada JP-R dan JP-RKS

Produksi Biogas dari Jerami Padi Menggunakan Cairan Rumen dan Kotoran Sapi

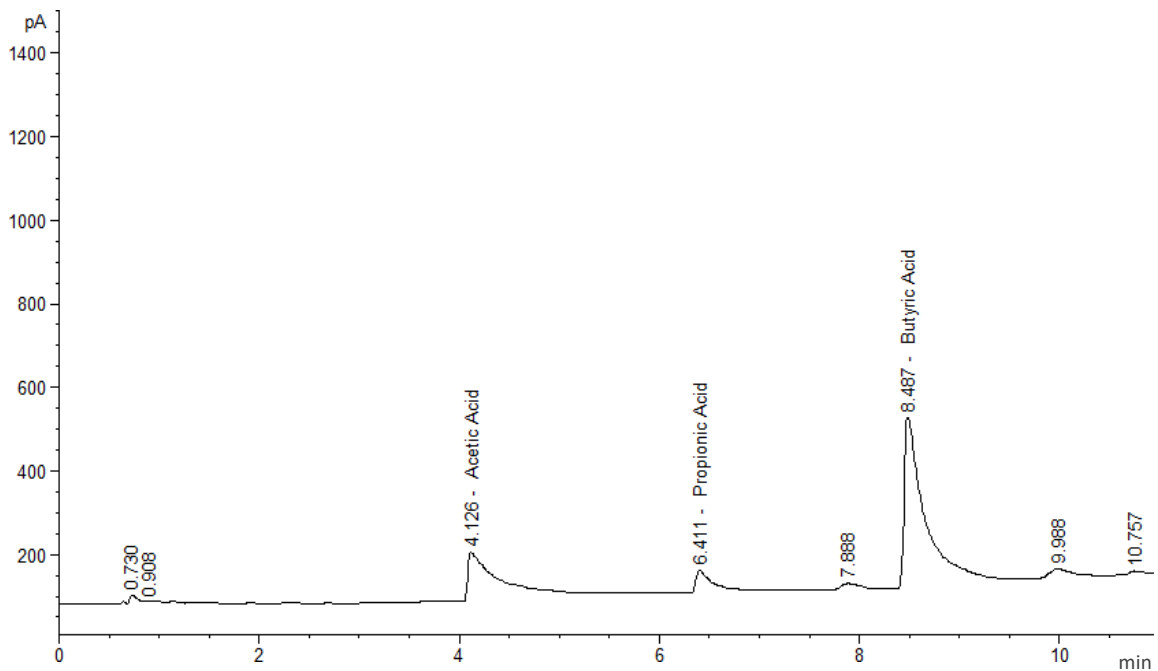
3.4 Volatile fatty acid (VFA)

Dalam penelitian ini, VFA ditemukan dalam bentuk asam asetat, propionat, dan butirrat yang dibuktikan dari hasil kromatografi gas (GC). Hasil GC dapat dilihat pada Gambar 5 dan 6. Asam-asam

tersebut merupakan produk utama dalam proses pembentukan metana. Hasil analisis Total VFA (asam asetat, propionat, dan butirrat) dapat ditunjukkan pada Gambar 7.

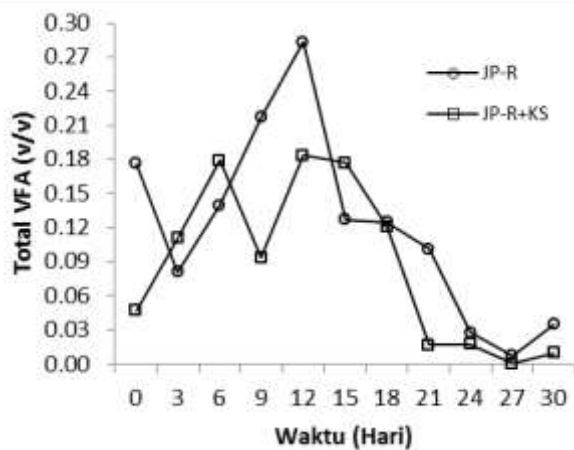


Gambar 5. Kromatogram Hasil GC pada JP-R



Gambar 6 Kromatogram Hasil GC pada JP-RKS

Produksi Biogas dari Jerami Padi Menggunakan Cairan Rumen dan Kotoran Sapi



Gambar 7. Nilai VFA pada JP-R dan JP-RKS

VFA yang dihasilkan diperoleh dari jumlah konsentrasi asam asetat, asam propionat, dan asam butirat yang dihasilkan. Peningkatan produksi asam-asam volatil (asam asetat, asam propionat, dan asam butirat) pada masing-masing perlakuan menunjukkan pertumbuhan bakteri asetogenik meningkat, sedangkan penurunan asam-asam volatil pada hari tertentu menunjukkan adanya proses pembentukan metana. Konsentrasi asam-asam volatil ini menunjukkan produksi biogas yang akan dihasilkan [26].

Berdasarkan hasil perhitungan, konsentrasi asam-asam volatil (asetat, propionat, dan butirat terbesar pada JP-R yaitu sebesar 1,32% (v/v), sedangkan pada JP-RKS sebesar 0,96% (v/v). Mikroorganisme rumen memiliki kemampuan lebih tinggi dalam mendegradasi lignoselulosa biomassa dibandingkan mikroorganisme anaerobik lainnya [27,28].

Hasil analisis terhadap metana, diperoleh bahwa konsentrasi metana tertinggi diproduksi pada JP-R sebesar 126743 ppm. Nilai ini lebih besar dari konsentrasi metana yang diproduksi di JP-RKS, yaitu 47628,4 ppm. Produksi asam asetat dalam JP-R sebanding dengan metana yang dihasilkan. Pada tahap

metanogenesis, bakteri *methanogenic archaea* seperti *Methanosarcina Sp* dan *Methanothrix Sp* mengubah H₂ dan asam asetat menjadi CO₂, CH₄ dan air, dan mengubah H₂ dan asam propionat menjadi CH₄ dengan bakteri *Methanobacterium*, *Methanococcus*). Asam asetat dan asam propionat merupakan produk utama dalam produksi biogas secara anaerobik [29].

3.5 Komposisi Biogas

Komposisi biogas (CH₄, CO₂, H₂) dianalisis setelah 30 hari fermentasi anaerobik. Tabel 2 menunjukkan perbandingan komposisi biogas antar JP-R dan JP-RKS:

Tabel 2. Perbandingan komposisi biogas pada JP-R dan JP-RKS

Senyawa	JP-R (%)	JP-RKS (%)
CH ₄	47,97	23,34
CO ₂	7	10,06
H ₂	0,44	0,39

Yield metana tertinggi dihasilkan pada JP-R sebesar 0,48 Nm³/kgCOD_{removal}, sedangkan pada JP-RKS menghasilkan *yield* metana sebesar 0,015 Nm³/kgCOD_{removal}.

4. Kesimpulan

Penggunaan cairan rumen pada produksi biogas lebih efektif dibandingkan campuran rumen dan kotoran sapi. Pada perlakuan menggunakan cairan rumen, komposisi metana dalam biogas yang dihasilkan sebesar 47,97% CH₄ dengan impuritis CO₂ sebesar 7%, sedangkan pada campuran cairan rumen dan kotoran sapi, komposisi metana dalam biogas yang dihasilkan sebesar 23,34% CH₄ dengan impuritis CO₂ sebesar 10,06%.

Daftar Rujukan

- [1] Jürgensen, L., Ehimen, E. A., Born, J., Holm-Nielsen, J. B. (2015). Dynamic biogas upgrading based on the Sabatier process: Thermodynamic and dynamic process simulation. *Bioresource Technology*. 178, 323–329, DOI: 10.1016/j.biortech.2014.10.069
- [2] Sun, Q., Li, H., Yan, J., Liu, L., Yu, Z., Yu, X. (2015). Selection of appropriate biogas upgrading technology-a review of biogas cleaning, upgrading and utilisation. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 51, 521–532, DOI: 10.1016/j.rser.2015.06.029
- [3] Ghosh, P., Shah, G., Sahota, S., Singh, L., Vijay, V. K. (2020). Biogas production from waste: technical overview, progress, and challenges. *Bioreactors*, 89-104, DOI: 10.1016/B978-0-12-821264-6.00007-3
- [4] Ghosh, P., Shah, G., Chandra, R., Sahota, S., Kumar, H., Vijay, V. K., Thakur, I. S. (2019). Assessment of methane emissions and energy recovery potential from the municipal solid waste landfills of Delhi, India. *Bioresource Technology*. 272, 611–615, DOI: 10.1016/j.biortech.2018.10.069
- [5] Ghosh, P., Kumar, M., Kapoor, R., Kumar, S. S., Singh, L., Vijay, V., Vijay, V. K., Kumar, V., Thakur, I. S. (2020). Enhanced biogas production from municipal solid waste via co-digestion with sewage sludge and metabolic pathway analysis. *Bioresource Technol.* 296, 122275. DOI: 10.1016/j.biortech.2019.122275
- [6] Ma, Y., Yin, Y., Liu, Y. (2017). Corrigendum to “New insights into co-digestion of activated sludge and food waste: Biogas versus biofertilizer”. *Bioresource Technology*. 241, 448–453, DOI: 10.1016/j.biortech.2017.07.152
- [7] Awasthi, M. K., Sarsaiya, S., Wainaina, S., Rajendran, K., Kumar, S., Quan, W., Duan, Y., Awasthi, S. K., Chen, H., Pandey, A., Zhang, Z., Jain, A., Taherzadeh, M. J. (2019). A critical review of organic manure biorefinery models toward sustainable circular bioeconomy: Technological challenges, advancements, innovations, and future perspectives. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 111, 115–131, DOI: 10.1016/j.rser.2019.05.017
- [8] Ma, Y., Shen, Y., Liu, Y. (2020). Food Waste to Biofertilizer: A Potential Game Changer of Global Circular Agricultural Economy. *J. Agric. Food Chem.* 68, 5021–5023, DOI: 10.1021/acs.jafc.0c02210
- [9] Ma, Y., Yin, Y., Liu, Y. (2017). A holistic approach for food waste management towards zero-solid disposal and energy/resource recovery. *Bioresoure Technology*. 228, 56–61, DOI: 10.1016/j.biortech.2016.12.090
- [10] Li, C., Chen, C., Wu, X., Tsang, C.-W., Mou, J., Yan, J., Liu, Y., Lin, C. S. K. (2019). Recent advancement in lignin biorefinery: With special focus on enzymatic degradation and valorization. *Bioresource Technology*. 291, 121898. DOI: 10.1016/j.biortech.2019.121898
- [11] Khaleghian, H., Karimi, K., Behzad, T. (2015). Ethanol production from rice straw by sodium carbonate pretreatment and *Mucor hiemalis* fermentation. *Ind. Crops Prod.* 76, 1079–1085, DOI: 10.1016/j.indcrop.2015.08.008.
- [12] Li, F., Zhang, P., Zhang, G., Tang, X., Wang, S., Jin, S. (2017). Enhancement of corn stover hydrolysis with rumen fluid pretreatment at different solid contents: Effect, structural changes and enzymes participation. *Int. Biodeterior. Biodegrad.* 119, 405–412, DOI: 10.1016/j.ibiod.2016.10.038
- [13] Lazuka, A., Auer, L., Bozonnet, S., Morgavi, D. P., O’Donohue, M., Hernandez-Raquet, G. (2015). Efficient anaerobic transformation of raw wheat straw by a robust cow rumen-derived microbial consortium. *Bioresource Technology*. 196, 241–249, DOI: 10.1016/j.biortech.2015.07.084
- [14] Xing, B.-S., Han, Y., Cao, S., Wen, J., Zhang, K., Yuan, H., Wang, X. C. (2020). Cosubstrate strategy for enhancing lignocellulose degradation during rumen fermentation in vitro: Characteristics and microorganism composition. *Chemosphere*. 250, 126104, DOI: 10.1016/j.chemosphere.2020.126104
- [15] Dai, X., Tian, Y., Li, J., Su, X., Wang, X., Zhao, S., Liu, L., Luo, Y., Liu, D., Zheng, H., Wang, J., Dong, Z., Hu, S., Huang, L. (2015). *Metatranscriptomic* Analyses of Plant Cell Wall Polysaccharide Degradation by Microorganisms in the Cow Rumen. *Appl. Environ. Microbiol.* 81, 1375–1386, DOI: 10.1128/AEM.03682-14

Produksi Biogas dari Jerami Padi Menggunakan Cairan Rumen dan Kotoran Sapi

-
- [16] Deng, Y., Huang, Z., Ruan, W., Zhao, M., Miao, H., Ren, H. (2017). Co-inoculation of cellulolytic rumen bacteria with methanogenic sludge to enhance methanogenesis of rice straw. *Int. Biodeterior. Biodegrad.* 117, 224–235, DOI: 10.1016/j.ibiod.2017.01.017
- [17] Henderson, G., Cox, F., Ganesh, S., Jonker, A., Young, W., Janssen, P. H. (2015). Rumen microbial community composition varies with diet and host, but a core microbiome is found across a wide geographical range. *Sci. Rep.* 5, 14567. DOI: 10.1038/srep14567
- [18] Corro, G., Panigua, L., Pal, U., Banuelos, F., Rosas, M. (2013). Generation of Biogas from Coffee Pulp and Cow-Dung Co-Digestion: Infrared studies of postcombustion emission. *Energy Conversion and Management*, 74, 471–481, DOI: 10.1016/j.enconman.2013.07.017
- [19] Alfa, I. M., Dahunsi, S. O., Iorhemen, O. T., Okafor, C. C., Ajayi, S. A. (2014). Comparative evaluation of biogas production from Poultry droppings, Cow dung and Lemon grass. *Bioresource Technology*. 157, 270–277, DOI: 10.1016/j.biortech.2014.01.108
- [20] Isroi. (2013). *Analisis Kandungan Lignoselulosa dengan Metode Chesson-datta*. Balai Penelitian Bioteknologi Perkebunan Indonesia.
- [21] Garrote, G., Dominguez, H., Parajo, J.C. (2002). Autohydrolysis of corncob: study of non-isothermal operation for xylooligosaccharid production. *J. Food Eng.* 52, 211–218. DOI: 10.1016/S0260-8774(01)00108-X
- [22] Balan, V., da Costa Sousa, L., Chundawat, S. P. S., Vismeh, R., Jones, A. D., Dale, B. E. (2008). Mushroom spent straw: a potential substrate for an ethanol-based biorefinery. *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.* 35, 293–301. DOI: 10.1007/s10295-007-0294-5
- [23] Zhong, C., Lau, M. W., Balan, V., Dale, B. E., Yuan, Y.-J. (2009). Optimization of enzymatic hydrolysis and ethanol fermentation from AFEX-treated rice straw. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 84, 667–676, DOI: 10.1007/s00253-009-2001-0
- [24] Gunter, B. (2011). Pre-treatment Technology for Biogas Production, Istanbul Bioenergy, *International Symposium on Anaerobic Digestion of Solid Waste and Energy Crop*, Turkey.
- [25] Yadvika, Santosh, Sreekrishnan, T. R., Kohli, S., Rana, V. (2004). Enhancement of biogas production from solid substrates using different techniques-a review. *Bioresource Technology*. 95, 1–10, DOI: 10.1016/j.biortech.2004.02.010
- [26] Buyukkamaci, N., Filibeli, A. (2004). Volatile fatty acid formation in an anaerobic hybrid reactor. *Process Biochem.* 39, 1491–1494, DOI: 10.1016/S0032-9592(03)00295-4
- [27] Sonakya, V., Raizada, N., Dalhoff, R., Wilderer, P. A. (2003). Elucidation mechanism of organic acids production from organic matter (grass) using digested and partially digested cattle feed. *Water Sci. Technology*. 48, 255–259, DOI: 10.2166/wst.2003.0476
- [28] Lopes, W. (2004). Influence of inoculum on performance of anaerobic reactors for treating municipal solid waste. *Bioresource. Technology*. 94, 261–266, DOI: 10.1016/j.biortech.2004.01.006
- [29] Zhang, C., Su, H., Baeyens, J., Tan, T. (2014). Reviewing the anaerobic digestion of food waste for biogas production. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 38, 383–392. DOI: 10.1016/j.rser.2014.05.038