

KARAKTERISTIK PRODUK BIOGAS DARI BERBAGAI JENIS LIMBAH SAYUR SAWI

CHARACTERISTICS OF BIOGAS PRODUCTS FROM VARIOUS TYPES OF MUSTARD GREEN WASTE

Marcelino A. S., Viktor M. S., Dwi Ana Anggorowati*)

Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional (ITN)

Jl. Bendungan Sigura-gura 02, Malang, 65145, Indonesia

Email : anggoro_dwiana@yahoo.com

Abstrak

Limbah pasar berupa sayur merupakan bahan organik yang menjadi perhatian mengingat limbah tersebut bertambah setiap hari dan semakin sulit mencari tempat pembuangan serta mengurangi estetika keindahan kota. Jenis limbah sayur sawi merupakan bahan organik yang berpotensi digunakan sebagai bahan pembuatan biogas karena didalamnya terkandung bahan penyusun seperti Karbohidrat, Protein dan Lemak. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh variasi jenis limbah sayur sawi dan kotoran sapi terhadap volume biogas yang dihasilkan. Variabel pada penelitian ini adalah rasio kotoran sapi dengan sawi hijau, sawi putih dan sawi daging dengan perbandingan berturut-turut 7:1, 5:1, 4:1. Bahan yang telah dicampur dimasukkan ke dalam reaktor anaerob, kemudian dilakukan proses fermentasi dengan kurun waktu 15 hari. Setelah itu setiap hari dilakukan pengukuran suhu, pH serta volume gas yang dihasilkan. Didapatkan kesimpulan bahwa sawi daging menghasilkan volume gas paling tinggi pada hari ke-7 yaitu sebanyak 690 mL dibandingkan dengan sawi putih dan sawi hijau yang berturut-turut menghasilkan volume gas sebanyak 475 mL dan 380 mL pada hari ke-8.

Kata kunci: Biogas, Limbah, sayur sawi, fermentasi anaerob

Abstract

Market waste in the form of vegetables is an organic material that is of concern considering that this waste is increasing every day and it is increasingly difficult to find a place for disposal and reduces the aesthetic beauty of the city. The type of mustard greens waste is an organic material that has the potential to be used as an ingredient for making biogas because it contains building blocks such as carbohydrates, proteins and fats. The purpose of this study was to determine the effect of variations in the types of waste mustard greens and cow dung on the volume of biogas produced. The variable in this study was the ratio of cow dung to mustard greens, chicory and meat mustard with successive ratios of 7:1, 5:1, 4:1. The mixed materials are put into the anaerobic reactor, then the fermentation process is carried out with a period of 15 days. After that every day measurements of temperature, pH and the volume of gas produced are carried out every day. It was concluded that mustard greens produced the highest gas volume on day 7, which was 690 mL compared to chicory and green mustard, which respectively produced 475 mL and 380 mL gas volume on day 8.

Keywords: Biogas, Waste, mustard greens, anaerobic fermentation

Pendahuluan

Tingginya penggunaan energi di Indonesia dipengaruhi oleh meningkatnya pertumbuhan penduduk dan meningkatnya perkembangan industri. Penggunaan fosil sebagai bahan baku menyebabkan kelangkaan energi karena fosil tidak dapat diperbaharui. Karena itu pengembangan energi alternatif sangat dibutuhkan [1]. Biogas adalah salah satu energi alternatif yang cocok dan dapat di produksi di Indonesia [2]. Biasanya biogas menggunakan bahan baku berupa sampah organik. Sampah organik adalah limbah biodegradable yang merupakan sisa makanan, sampah dapur, pupuk kandang, limbah pertanian, kehutanan, limbah kertas dan tekstil [3].

Limbah biodegradable yang merupakan Limbah pasar sayur mulai menjadi perhatian mengingat limbah tersebut selain bertambah setiap harinya semakin sulit mencari tempat pembuangan dan mengurangi estetika keindahan kota [4]. Limbah pasar sayur juga biasanya terdiri dari berbagai macam limbah sayuran contohnya seperti limbah sawi yang sayurnya mudah didapatkan dan banyak di produksi di Indonesia, Bahkan total produksi sawi di Indonesia mencapai 322.164ton dari produksi sayuran nasional [5]. Kekurangannya adalah sawi mempunyai umur simpan yang relative singkat dan berubah warna menjadi kuning dalam waktu tiga sampai empat hari. Sehingga menjadi alternatif sebagai bahan baku pembuatan biogas [6].

Perlakuan proses fermentasi dilakukan selama 8 hari dengan perbandingan bahan kotoran sapi (%KS) dan campuran sampah sayuran (%SO) 100:0; 75:25; 50:50; 25:75; dan 0:100. Penelitian yang dilakukan dengan membandingkan perlakuan bahan dicacah dan di blender ternyata perlakuan bahan yang di blender memiliki hasil

volume gas yang lebih tinggi dengan rasio bahan yang sama, 75% kotoran sapi dan 25% sampah organik menghasilkan volume gas 50,48 cm³ untuk perlakuan blender dan 42,52 cm³ dengan perlakuan cacah. Ditinjau dari penelitian ini pemilihan bahan perlu dipertimbangkan dikarenakan sampah limbah organik yang sangat bervariasi, sehingga dengan menggunakan satu jenis variasi sayur dapat mengoptimalkan pengamatan biogas. Terutama dalam kebutuhan biogas berbahan organik seperti contohnya sawi [7].

Penelitian berikutnya menurut [8] dengan penelitian yang berjudul “Pengaruh Variasi Campuran Eceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*) Dan Isi Rumen Sapi Terhadap Produksi Biogas” dengan variabel rasio berat eceng Gondok dan isi rumen sapi yakni 100%: 0%; 50 %: 50 %; 75 %: 25 %. Percobaan Proses fermentasi dilakukan dalam kurun waktu 62 hari. Volume gas tertinggi didapatkan pada rasio campuran 75% eceng gondok dan 25% isi rumen sapi dengan hasil biogas sebesar 10.525,28 mL, pada penyisihan volume solid tertinggi sebesar 14,14%. Suhu tiap biodigester untuk bakteri mesophilic yakni pada rentang suhu 29-34°C. Dan pada ketiga biodigester warna nyala api rata – rata berwarna biru kemerahan [8].

Teori

Biogas dapat diproduksi dari bahan organik dengan bantuan bakteri untuk proses fermentasi *anaerobnya*. Pada umumnya hampir semua jenis bahan organik dapat diolah menjadi biogas [9]. Berikut ini merupakan beberapa limbah sayur pasar berjenis sawi yang berpotensi dalam bahan baku pengolahan biogas:

Sawi hijau (*Brassica rapa L.*)

Brassicaceae yang merupakan nama latin dari sawi hijau tergolong jenis sawi-sawian atau, dikenal pula sebagai caisim, caisin, atau sawi bakso, biasa diolah menjadi asinan, lalapan, dan berbagai masakan lainnya atau dapat dimakan segar. Karena rasa sawi mentah yang pahit biasanya dikonsumsi dalam bentuk olahan karena ada kandungan alkaloid *carpaine*. Produksi sawi di Indonesia mencapai 322.164 ton dari produksi sayuran nasional, padahal sawi yang tidak dimanfaatkan berkisar 20 % dari bagian tanaman yang dimanfaatkan, sehingga bisa dimanfaatkan sebagai bahan baku biogas [5].



Gambar 1. (a) Sawi hijau, (b) Sawi Putih, (c) Sawi Daging (Pakcoy)

Sawi putih (*Brassica Pekinensia L*)

Sawi putih (*Brassica pekinensia L*) adalah sekelompok tumbuhan dari marga Brassicaceae yang dimanfaatkan daun atau bunganya sebagai bahan pangan (sayuran) baik segar maupun diolah. Daun sawi putih merupakan bagian tanaman yang sering dikonsumsi dalam berbagai bentuk makanan, terutama bagian kropnya (kumpulan-kumpulan daun yang membentuk kepala). Sawi putih dikenal sebagai sayuran olahan dalam masakan Tionghoa, karena itu disebut juga sawi cina. Disebut sawi putih karena daunnya yang cenderung kuning pucat dan tangkai daunnya putih.

Sawi daging (*Brassica Juncea L*)

Sawi yang dikenal oleh masyarakat adalah sawi daging atau sawi sendok. Tanamansawi daging, yang tergolong sayuran daun memerlukan banyak unsur nitrogen untuk menghasilkan kualitas (kesegaran, rasa dan warna daun) dan kuantitas (*yield*) yang tinggi atau baik. Pakcoy merupakan jenis sayuran hijau yang masih satu golongan dengan sawi. Pakcoy juga sering disebut dengan sawi sendok karena bentuknya yang menyerupai sendok. Pakcoy sering disebut dengan sawi manis atau sawi daging karena pangkalnya yang lembut dan tebal seperti daging. Berikut adalah komposisi kimia dari berbagai jenis sayuran Sawi yang dirangkum dari berbagai sumber

Tabel 1. Kandungan Bahan Kimia Berbagai Jenis Sayur Sawi [10].

Komponen kimia	Kandungan Jenis Sawi (%)		
	Sawi Hijau	Sawi Putih	Sawi Daging
Protein (gr)	2,3	1,8	1,1
Lemak (gr)	0,4	0,2	0,1
Karbohidrat (gr)	4	2,5	1,5
Serat (gr)	0,7	0,6	0,7

Kotoran Sapi

Sapi merupakan hewan ternak yang banyak dipelihara dan menghasilkan kotoran yang berupa limbah. Kotoran tersebut merupakan hasil samping dari proses dekomposisi mikroba. Dimana sapi merupakan hewan ruminansia (hewan yang memiliki perut ganda), yang memiliki mikroba berupa bakteri pembentuk metana yang banyak terdapat dalam tubuh [11]. Dengan demikian limbah sayuran sawi dan kotoran hewan sangat berpotensi sebagai bahan baku untuk pembuatan biogas.

Adapun bakteri-bakteri yang berperan dalam pembentukan biogas pada kotoran sapi, yaitu :

- *Acidogenic Bacteria* merupakan bakteri pembentuk asam yang merombak senyawa organik menjadi senyawa yang lebih sederhana, yaitu berupa asam organik, H_2 , CO_2 , H_2S .
- *Acetogenic Bacteria* merupakan bakteri pembentuk asetat, yang merubah asam organik menjadi asetat dan hidrogen.
- *Metanogen* merupakan bakteri penghasil metan, yang berperan dalam merubah asam lemak dan alkohol menjadi metan dan karbondioksida. Jenis bakteri penghasil metan antara lain *methanosarcina*, *methanococcus*, dan *methanobacterium* [12].

Pengelolaan limbah dengan baik dapat mengurangi bau tidak sedap dan menurunkan dampak dari gas rumah kaca. Limbah kotoran sapi merupakan salah satu biomassa yang digunakan sebagai sumber energi alternatif dengan cara mengolah di dalam biodigester [13].

Tabel 2. Komponen dalam Kotoran sapi [14].

Komponen Kotoran Sapi	Kandungan (%)
Total padatan	3-6
Total padatan Volatile	80-90
Total kjeldahl nitrogen	2-4
Selulosa	15-20
Lignin	5-10
Hemiselulosa	20-25

Biogas

Biogas dihasilkan dari bahan organik melalui proses fermentasi. Biogas ini terdiri dari beberapa unsur gas seperti gas metana (CH_4), karbon dioksida (CO_2), hidrogen sulfida (H_2S) dan amoniak (NH_3). Gas metana (CH_4) adalah komponen penting dan utamadari gas bio karena merupakan bahan bakar yang berguna dan memiliki nilai kalor yang cukup tinggi, mempunyai sifat yang tidak berbau dan tidak berwarna. Jika gas yang dihasilkan dari proses fermentasi anaerobik ini dapat terbakar, berarti mengandung sedikitnya 45% gas metan [15].

Tabel 3. Komposisi Biogas [14].

Kandungan Biogas	Rumus Kimia	Jumlah (%)
Metana	CH_4	60-70
Karbondioksida	CO_2	30-40
Nitrogen	N_2	3
Hidrogen	H_2	01-10
Oksigen	O_2	3
Hidrogen Sulfida	H_2S	5

Uji nyala api pada biogas berkualitas baik dengan warna nyala api biru, jika biogas memiliki banyak pengotor maka warna nyala api akan berwarna biru kemerahan. [16].

Pembuatan Biogas

Proses pembuatan biogas didalam biodigester dapat dilakukan secara aerobik dan anaerobik. Pada penguraian secara aerobik dibutuhkan oksigen dan limbah hasil dari proses secara aerobik bisa langsung dibuang ke lingkungan. Aerasi sangat diperlukan pada proses aerobik dimana membutuhkan konsumsi energi yang cukup tinggi. Hasil samping berupa *slurry* yang dihasilkan sangat tinggi, yaitu berkisar antara 30-60%. Sedangkan pada penguraian anaerobik dilakukan pada kondisi tanpa oksigen. Kelebihan dari proses secara anaerobik yaitu konsumsi energi lebih rendah jika dibandingkan dengan proses aerobik. Metode yang paling umum digunakan adalah metode anaerobik, karena menghasilkan metana dan sisa limbah cair yang kaya nutrisi seperti nitrogen dan fosfor.

Proses penguraian dengan cara anaerobik, dilakukan dalam beberapa tahapan proses yaitu hidrolisis, asidogenesis, asetonogenesis, dan metanogenesis. Pada reaksi hidrolisis, air bereaksi dengan polimer rantai panjang

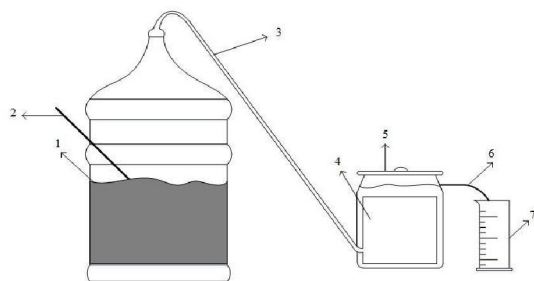
untuk membentuk polimer rantai pendek. Enzim yang berperan untuk memecah rantai polimer panjang menjadi rantai polimer pendek adalah selulase, amilase, lipase atau protease. Selanjutnya pada tahapan proses asidogenesis, substrat hasil dari proses hidrolisis digunakan untuk melakukan proses oksidasi anaerobik. Proses asidogenesis merupakan tahapan tercepat untuk mengkonversi zat organik kompleks pada penguraian dalam fase cair. Bakteri asetogenik akan memproduksi hidrogen dan mengkonversi asam lemak serta etanol/alkohol menjadiasetat, karbon dioksida dan hidrogen. Konversi ini dilakukan untuk membantu metanogenmenggunakan asam lemak dan etanol dalam memproduksi biogas [7]. Beberapa faktor faktor yang berpengaruh dalam proses pembuatan biogas adalah: Derajat Keasaman (pH), Temperatur, Keracunan dan Hambatan, kadar air, Ratio C/N.

Metodologi Penelitian

Peralatan yang digunakan antara lain : gallon air mineral 18 L, *Urine Bag*, pH meter, thermometer, selang penghubung, toples dan gelas ukur. Bahan yang digunakan adalah kotoran sapi, air, dan limbah sayur sawi (sawi hijau, sawi putih dan sawi daging).

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah Perbandingan campuran bahan: 4:1 (kotoran sapi, dan sawi daging), 5:1 (kotoran sapi, dan sawi putih), 7:1 (kotoran sapi, dan sawi hijau), Air : penambahan air sesuai dengan kotoran sapi, suhu : suhu kamar dengan range 26-30 °C, pH awal dan akhir dengan range 5 – 7 dan variable berubah antara lain waktu fermentasi 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15 kemudian jenis Sawi adalah sawi putih, sawi hijau, sawi daging.

Prosedur pelaksanaan penelitian adalah sebagai berikut menyiapkan sampah organik, yaitu jenis sayuran sawi (sawi hijau, sawi putih dan sawi daging) yang dipisahkan kemudian dihaluskan terlebih dahulu dengan cara diblender hingga halus. Selanjutnya mencampurkan bahan kemudian dimasukkan kedalam galon, yang mana galon pertama hanya berisi campuran kotoran sapi, air dan sawi hijau, galon kedua berisi campuran kotoran sapi, air dan sawi putih, dan galon ketiga berisi campuran kotoran sapi, air dan sawi daging. Campuran bahan dari ketiga bioreaktor ditutup rapat dan dibiarkan selama 15 hari. Suhu didalam bioreaktor diukur setiap hari serta menghitung volume gas yang dihasilkan. Juga mengukur pH setelah gas terbentuk untuk mengetahui pH optimumnya dan menghitung kadar gas metana pada setiap bioreaktor[17].



Gambar 2. Skema Reaktor Biogas

Keterangan:

1. Galon yang berisi bahan untuk pembuatan biogas
2. Termometer
3. Selang penghubung
4. Kantung plastik kedap udara, sebagai tempat gas yang dihasilkan
5. Toples yang berisikan air
6. Selang, tempat keluar air
7. Gelas ukur, untuk mengukur volume air yang keluar (air yang keluar setara denganbiogas yang dihasilkan)

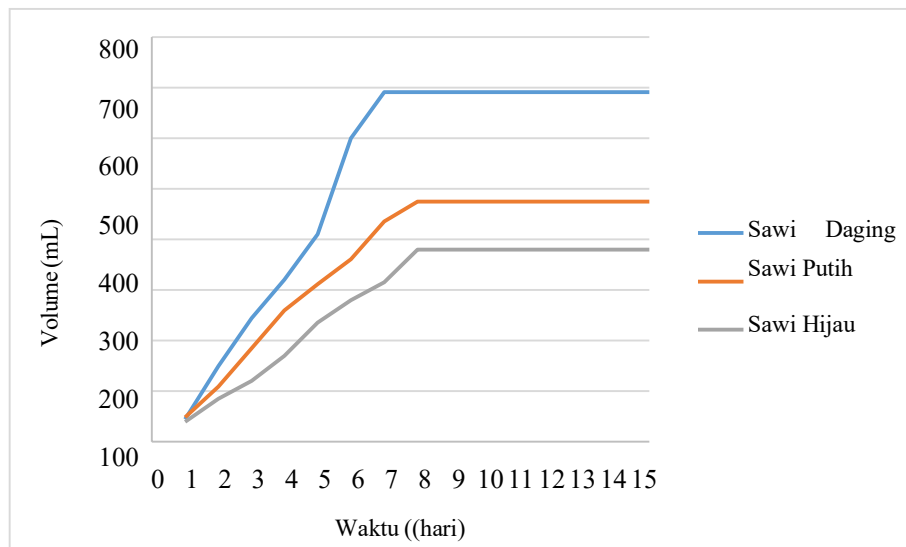
Hasil dan Pembahasan

Pengaruh Ratio C/N Terhadap Biogas yang Dihasilkan

Ratio C/N merupakan suatu hubungan antara jumlah karbon dan nitrogen yang adapada bahan. Pada tabel 6 dari hasil analisa rasio C/N yang dilakukan Universitas Muhamdia Malang, di dapat hasil ratio C/N untuk kotoran sapi yaitu 50,03, sawi daging14,71, sawi putih 14,13 , dan sawi hijau 11,15. Rasio C/N optimum dalam digester anaerob yang menyatakan hubungan antara jumlah karbon dan nitrogen yang terkandung dalam bahan organik adalah 30 [11], dilihat dari data nilai optimum rasio C/N yaitu 30 maka dilakukan perhitungan, sehingga didapatkan perbandingan kotoran sapi dengan 3 variasi sawi, sawi daging 4:1, sawi putih 5:1 dan sawi hijau adalah 7:1. Menurut [12], apabila ratio C/N sangat tinggi maka nitrogen pada substrat akan dengan cepat dicerna oleh bakteri metanogen dalam memenuhi kebutuhan protein dan tidak akan bereaksi lagi pada kandungan karbon yang tersisa pada substrat, sehingga mengakibatkan hasil produksi biogas rendah. Oleh karena itu pada bioreaktor sawi putih dan digester sawi hijau. Biogas yang dihasilkan sedikit dibandingkan dengan sawi daging.

Pengaruh antara waktu fermentasi dan variasi jenis sayuran terhadapvolume biogas yang di hasilkan

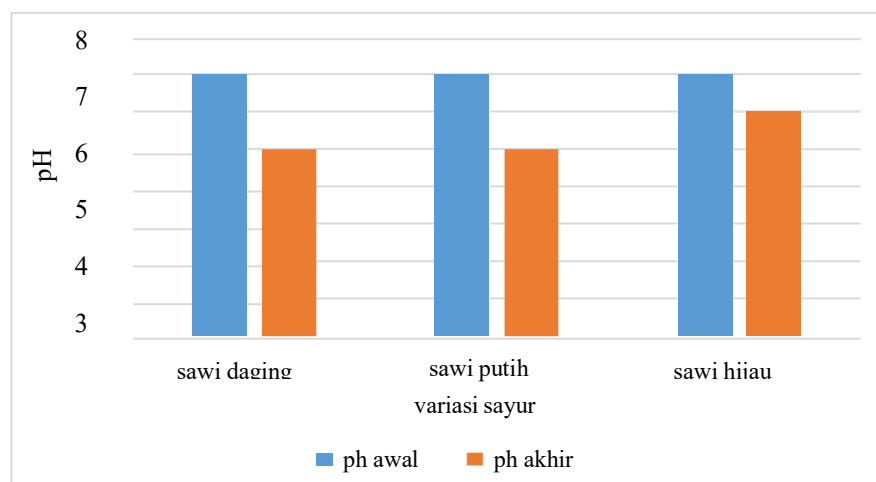
Data volume gas yang dihasilkan di peroleh dengan cara pengecekan volume air yang keluar dari tempat penampungan biogas, air yang keluar dari tempat penampunganbiogas menuju ke gelas ukur sebanding dengan volume biogas yang dihasilkan. Sehinggaavolume biogas dapat diukur setiap hari Pengambilan data tersebut dilakukan setiap hari selama waktu fermentasi yaitu 15 hari pada jam yang sama. Berikut ini adalah grafik perbandingan antara lama waktu fermentasi terhadap volume gas yang di hasilkan.



Gambar 3. Hubungan antara waktu fermentasi dan variasi jenis sayuran terhadap volume gas yang di hasilkan

Dari gambar 3. dapat dilihat pada 15 hari waktu fermentasi dari ketiga jenis yaitu sawi daging, sawi putih dan sawi hijau menghasilkan volume gas di hari pertama berturut-turut 45 mL, 48 mL dan 40 mL. Volume biogas terus bertambah hinggamencapai titik optimum. Hasil data ketiga variasi sawi daging mendapatkan volume gas lebih tinggi pada hari ke-7 yaitu sebanyak 690 mL dibandingkan dengan sawi putih dan sawi hijau yang berturut-turut menghasilkan volume gas sebanyak 475 mL dan 380 mL pada hari ke-8. Akan tetapi dihari ke-9 sampai dengan hari ke-15 tidak lagi terbentuk lagi biogas, hal ini menunjukkan bahwa bakteri metanogen dapat berkerja secara efektif di hari ke-7 hingghari ke-8. Setelah volume biogas mencapai titik puncak maka Bakteri metanogen sudah tidak bisa memproduksi biogas dikarenakan ketersediaan karbon dan nitrogen tidak terpenuhi. Nilai karbon dibutuhkan oleh bakteri sebagai sumber energi sedangkan nitrogen juga sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan bakteri khususnya dalam pembentukan sel. Menurut [18], pada proses fermentasi bakteri pembentukan biogas, bakteri akan mengalami masa adaptasi dengan bahan baku di dalam digester, dan setelah akan mengalami masa pertumbuhan karena adanya nutrisi yang telah dimanfaatkan sehingga dapat dihasilkan biogas dengan maksimal. Dan pada tahap akhir dari proses fermentasi, bakteri akan memasuki fase kekurangan nutrisi dan mengalami kematian sehingga produksi biogas yang terbentuk akan berhenti.

Derajat Keasaman (pH)



Gambar 4. Hubungan antara rasio penambahan kotoran sapi dan variasi sayuran dengan Derajat Keasaman (pH)

Salah satu parameter terpenting yang dapat mempengaruhi pertumbuhan mikroba selama fermentasi anaerobik adalah derajat keasaman (pH). Didalam digester pH harus dijaga dalam kisaran 6–7 [19]. Pengukuran pH dilakukan diawal dan diakhir proses fermentasi (15 hari). Pengukuran pH awal dilakukan sebelum bahan dimasukkan ke dalam bioreaktor (pengecekan pH awal), kemudian untuk pengecekan pH akhir dilakukan pada akhir penelitian yaitu setelah proses fermentasi anaerob selesai. Pengukuran pH awal dan akhir ini menggunakan kertas

lakmus. Tujuannya dilakukan pengukuran pH yaitu untuk mengetahui kisaran pH yang dibutuhkan mikroba yang terlibat dalam fermentasi anaerob hidup dan tumbuh sehingga dapat menghasilkan biogas.

Hasil dari grafik 4. diperoleh data pH variasi sayuran pada awal dan akhir proses pembuatan biogas, untuk sawi daging serta sawi putih pH awal 7 dan mengalami penurunan menjadi 5, sedangkan untuk sawi hijau pH awal 7 mengalami penurunan menjadi 6. Pada data tersebut diketahui bahwa diakhir percobaan mengalami penurunan pH menjadi lebih asam hal ini dikarenakan pembentukan biogas mengalami proses fermentasi yang akan menghasilkan asam asetat, H_2 , CO_2 serta asam organik. Asam organik akan mengalami proses acetogenesis untuk memperoleh asam asetat, H_2 , CO_2 . Pada tahap metanogenesis asam asetat, H_2 , CO_2 akan dirubah menjadi gas metana (CH_4) dan CO_2 . Gas CO_2 akan mengalami reduksi menjadi gas metana dan H_2O [20].

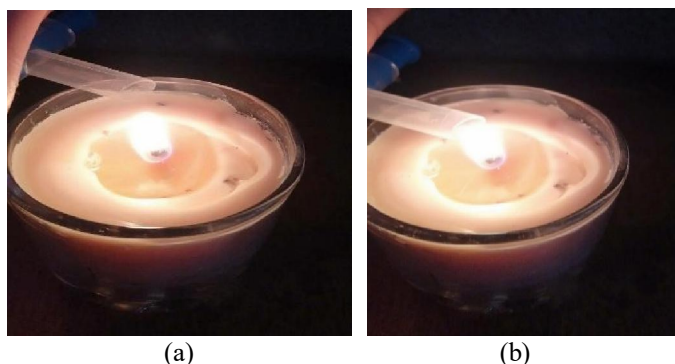
Uji nyala

Pengujian terhadap uji nyala merupakan pengujian yang dilakukan untuk mengetahui kandungan gas metana yang dihasilkan dari proses pembuatan biogas. Proses ini dilakukan dengan cara menyalakan api secara langsung pada ujung selang atau ujung selang yang didekatkan pada sumber api.



Gambar 5 Uji nyala pada sawi daging

Pada gambar 5. tampak uji nyala A1 (sawi daging) menghasilkan api berwarna biru (tampilan nyata). Dapat disimpulkan bahwa api yang dihasilkan dari sawi daging mempunyai kandungan metana yang lebih banyak dibandingkan dengan hasil metana pada variasi lain. [21] berpendapat bahwa nyala api yang berwarna biru menunjukkan bahwa produksi biogas tersebut memiliki kandungan metana sangat tinggi dibandingkan dengan kandungan gas lain selain metana. Menurut [22] bahwa uji nyala yang menghasilkan warna biru menunjukkan terdapatnya unsur metana di dalam biogas sekitar 45%. Untuk uji nyala jenis sawi putih dan sawi hijau menghasilkan nyala api berwarna biru kemerahan, yang menandakan bahwa terdapat gas metana pada uji nyala sawi putih dan sawi hijau.



(a) (b)
Gambar 6 Uji nyala pada sawi putih (a) dan sawi hijau (b)

Hal ini sesuai dengan pernyataan [7], bahwa warna api yang cenderung berwarna kemerahan menunjukkan kandungan gas metananya masih sangat sedikit dan mengandung lebih banyak gas-gas pengotor lainnya. Menurut [23] bahwa Kadar CO_2 juga berpengaruh terhadap pembakaran CH_4 . Pembakaran dengan penambahan CO_2 akan menghasilkan api berwarna kuning kemerahan yang menunjukkan pembakaran tidak sempurna. Sedangkan pembakaran tanpa adanya CO_2 akan menghasilkan api berwarna biru. Untuk Penelitian ini belum melakukan analisa kadar gas methana sehingga secara kuantitatif belum bisa didapatkan angka pasti untuk jumlah gas methana.

Kesimpulan

Pada pembuatan biogas dari campuran limbah kotoran sapi dan berbagai jenis sawi yaitu sawi daging, sawi putih dan sawi hijau, maka yang memiliki volume biogas tertinggi adalah campuran limbah kotoran sapi dan sawi daging dengan perbandingan 4:1 pada hari ke-7 yaitu sebanyak 690 mL.

Daftar Pustaka

- [1] Chandra, 2017. *Produksi Biogas Dari Campuran Kotoran Sapi Dengan Rumput Gajah (Pennisetum Purpureum) [The Production Of Biogas From A Mixture Of Cow*. Vol.6, No. 1: 21-32. Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.
- [2] Sutrisno, Joko. 2010. *Pembuatan Biogas Dari Bahan Sampah Sayuran (Kubis, Kangkung, dan Bayam)*. Jurnal Teknik Waktu, Vol. 08 No. 01
- [3] Srinivasa Reddy.N, Satyanarayana, Sudha. G. 2017. Bio Gas Generation from Biodegradable Kitchen Waste. Oman: International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology ISSN: 2456-1878
- [4] Giska, 2017. *Upaya Dalam Meningkatkan Pertumbuhan Tanaman Sawi Hijau (Brassica Juncea L.) Dengan Pemberian Pupuk Organik Cair*. Prodi Agroteknologi, Stiper Sawahlunto Sijunjung. Vol. 2 No. 1.
- [5] Rahmah, Atikah, 2014. *Pengaruh Pupuk Organik Cair Berbahan Dasar Limbah Sawi Putih (Brassica Chinensis L.) Terhadap Pertumbuhan Tanaman Jagung Manis. Volume XXII, Nomor 1*. Universitas Diponegoro.
- [6] Siti Alifah, 2019. *Pengolahan Sawi Hijau Menjadi Mie Hijau Yang Memiliki Nilai Ekonomis Tinggi Di Desa Sukamanis Kecamatan Kadudampit Kabupaten Sukabumi*. Universitas Indraprasta PGRI Jakarta. Vol. 1 No. 2
- [7] Medya Ayunda & Dhaniswara, Trisna Kumala. 2018. *Pemanfaatan Kotoran Sapi dan Sampah Sayur pada Pembuatan Biogas dengan Fermentasi Sampah Sayuran*. Sidoarjo : Universitas Nadlatul Ulama. Vol.4 No. 1
- [8] Sarwono, E., Subekti, F. & Widarti, B. N. (2018). Pengaruh variasi campuran eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dan isi rumen sapi terhadap produksi biogas. Jurnal Teknologi Lingkungan, 2(1): 1-10.
- [9] Suyitno, dkk. 2010. *Teknologi Biogas*. Yogyakarta : Graha Ilmu
- [10] Direktorat Gizi, Departemen Kesehatan Republik Indonesia, 2012
- [11] S. Wirawan, Zuliyana., dkk. 2015. *Pengaruh Kadar Air Umpan dan Rasio C/N pada Produksi Biogas dari Sampah Organik Pasar*. Jurnal Rekayasa Proses Departemen Teknik Kimia Universitas Gadjah Mada Yogyakarta
- [12] Kurniawan Muhammad Ilham, dkk. 2017. *Pengaruh pH terhadap Produksi Biogas dengan Campuran Limbah Kulit Pisang dan Kotoran Sapi*. Bandung: Universitas Telkom. Vol. 4 No. 3.
- [13] I Gede, 2017. *Konversi Energi Biomassa Kotoran Sapi Melalui Rancangan Biodigester Untuk Rumah Tangga*. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Mataram. VOL. 17. NO. 3.
- [14] Prihutama, Faiz Akbar., dkk. 2017. *Pemanfaatan Biogas sebagai Energi Alternatif Ramah lingkungan Daerah Desa Monggol, Kabupaten Gunungkidul, Yogyakarta*. Yogyakarta : Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta.
- [15] Atiqah, Olivia Izzati, dkk. 2019. *Pemanfaatan Limbah Organik Dari Rumah PKD Tlogomas dengan Kotoran Sapi dan EM-4 sebagai Biogas*. Malang : Politeknik Negeri Malang. p-ISSN : 1978-8789.
- [16] Badan Standarisasi Nasional, 2012
- [17] Fransisca Fierda, Ratnaningsih, dkk. 2020. *Limbah Kulit Singkong Terhadap Pembentukan Biogas dari Kotoran Sapi (Studi Kasus Kampung Injeman Desa Cibodas Kecamatan Pasing Jambu, Bandung)*. Jakarta: Universitas Trisakti. KOCENIN Serial Konferensi No. 1.
- [18] Clinton, Deril & Herlina, Netti. Pengaruh Waktu Fermentasi dan Komposisi Limbah Kulit Buah Aren (*Arenga Pinnata*) dengan Starter Kotoran Sapi Terhadap Biogas yang dihasilkan. 2015. Medan : Universitas Sumatera Utara. Vol. 4 No.3
- [19] Yadvika, dkk. 2004, Enhancement of Biogas Production From Solid Substrates Using Different Technique India: Department for Biochemical Engineering & Biotechnology
- [20] Arlina, Mutiara Jeanett P.S & Ana Dwi A, 2021. *Pengaruh Variasi Jenis Limbah Kulit Pisang Dengan Kotoran Sapi Terhadap Hasil Produksi Biogas*. Vol.2, No.1. Institut Teknologi Nasional Malang, Program Studi Teknik Kimia.
- [21] Fairuz, Adam., dkk. 2015. Pengaruh Penambahan Ampas Kelapa dan Kulit Pisang Terhadap Produksi Biogas dari Kotoran Sapi. Lampung : Universitas Lampung. Vol.4 No. 2
- [22] Ihsan, A., Bahri, S., dan Musafira, 2013, Produksi Biogas Menggunakan Cairan Isi Rumen Sapi Dengan Limbah Cair Tempe, Natural Science: Journal of Science and Technology
- [23] Uwar, Nur Aini., dkk. 2012. Karakteristik Pembakaran CH₄ Dengan Penambahan CO₂ Pada Model Helle-Shaw Cell Pada Penyalan Bawah. Universitas Brawijaya : Malang. Vol.3, No. 1