

PENGOLAHAN KOTORAN SAPI DAN LIMBAH SAYURAN MENJADI ENERGI BIOGAS DI DESA CIBODAS, KECAMATAN PASIRJAMBU, KABUPATEN BANDUNG

Ryvia Hananda Amanda¹⁾, Dwi Indrawati²⁾, dan Ratnaningsih³⁾

Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Arsitektur Lanskap dan Teknologi
Lingkungan, Universitas Trisakti
E-mail: dindrawati@trisakti.ac.id

ABSTRAK

Peternak dan petani di Desa Cibodas mengalami kesulitan dalam membuang limbah dari kotoran sapi dan sampah sayuran. Alternatif yang digunakan untuk mengolah kotoran sapi dan limbah sayuran adalah teknologi biogas yaitu bahan baku dimasukkan kedalam sebuah reaktor kemudian efluen biogas yang dihasilkan dimanfaatkan untuk memasak. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik kotoran sapi dan limbah sayuran, mengetahui jumlah produksi gas yang dihasilkan dari pencampuran kotoran sapi dan limbah sayuran serta pengaruh parameter pada proses anaerob terhadap produksi biogas. Bahan baku yang digunakan yaitu sampah sayuran dari pertanian dan kotoran sapi dari peternakan dan terdiri dari lima variasi bahan baku yaitu P1 dengan 100% kotoran sapi, P2 dengan 100% limbah sayuran, P3 dengan 50:50 kotoran sapi dengan sayuran, P4 dengan 75:25 kotoran sapi dengan sayuran dan P5 dengan 25:75 kotoran sapi dengan sayuran. Penelitian dilakukan selama 70 hari menggunakan reaktor dari galon berkapasitas 19 liter. Parameter pengukuran terdiri dari pH, chemical oxygen demand (COD), volatile fatty acid (VFA), dan volume biogas. Hasil penelitian menunjukkan variasi P1 menghasilkan gas metan pada hari ke-30 sebesar 41,91%, hari ke-60 sebesar 37,9% dengan hasil TS sebesar 7,32%, VS sebesar 85,6%, rasio C/N sebesar 36,73% yang berarti variasi ini adalah yang paling baik diantara variasi lainnya.

Kata Kunci: Limbah Sayuran, Kotoran Sapi, Digester Anaerob, Gas Metana, Biogas.

I. PENDAHULUAN

Peternak dan petani di Desa Cibodas mengalami kesulitan dalam membuang limbah dari kotoran sapi dan sampah sayuran. . Limbah kotoran sapi dapat menghasilkan biogas dan juga pupuk organik. Oleh karena itu limbah kotoran sapi seharusnya mendapatkan perhatian yang khusus agar dapat menghasilkan pupuk organik dan biogas.

Selain itu, limbah sayuran juga merupakan masalah lainnya yang ada di Desa Cibodas khususnya pada bidang pertanian. Para petani di Desa Cibodas kebanyakan menanam sayuran sawi putih, kol dan brokoli. Limbah sayuran yang dibuang dapat mengakibatkan berbagai pencemaran lingkungan padahal limbah sayuran dan kotoran sapi dapat digunakan untuk biogas. Biogas sendiri merupakan salah satu energi berupa gas yang dihasilkan dari bahan-bahan organik melalui proses fermentasi di dalam suatu reaktor atau biodigester yang kemudian efluen biogas yang dihasilkan dapat dimanfaatkan untuk berbagai hal seperti tenaga listrik dan memasak.

II. STUDI PUSTAKA

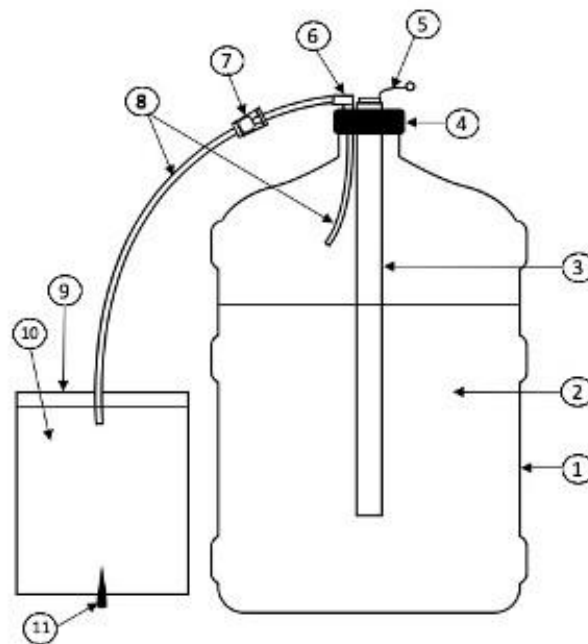
Biogas merupakan gas yang dihasilkan dari proses penguraian bahan-bahan organik oleh mikroorganisme dalam keadaan anaerobik atau tanpa udara dari bahan-bahan organik termasuk diantaranya kotoran manusia dan hewan, limbah domestik (rumah tangga), dan limbah organik. Dalam pembuatan biogas ini diperlukan digester yang tertutup rapat dan kedap udara agar proses produksi biogas dapat optimal (Haryanto, 2014). Komposisi biogas akan bervariasi tergantung jenis bahan baku, komposisi masukan, lama waktu fermentasi serta kapasitas yang digunakan.

Limbah organik merupakan limbah yang mudah diuraikan oleh mikroba dan berasal dari bahan-bahan hayati seperti hasil industri pertanian, peternakan dan dari sisa aktivitas makhluk hidup contohnya limbah sayuran, buah-buahan, kotoran hewan, kotoran manusia, produk daging, tanaman, limbah halaman dan lain sebagainya. Semua limbah organik mengandung hidrokarbon, unsur hara, vitamin dan spora dari bahan yang sangat kering seperti serutan kayu hingga bahan yang sangat basah seperti kotoran babi. Pengolahan limbah organik yang tidak tepat dapat menyebabkan beberapa masalah lingkungan yang tergantung dari jenis limbah organik dan pengelolaannya (Six et al., 2016).

Tahap dalam proses pengolahan bahan organik secara anaerobik yaitu hidrolisis, asidogenesis dan metanogenesis. Populasi mikroba yang beragam akan mendegradasi senyawa organik dan akan menghasilkan biogas. Proses pengolahan bahan secara organik akan melepas gas metan dan karbondioksida ke atmosfer. Proses ini mempunyai potensi yang sangat bermanfaat karena menghasilkan bahan bakar yang biodegradable yang tidak membutuhkan oksigen dan hasil bahan bakar yang dihasilkan relatif lebih bersih. Proses pengolahan limbah organik secara anaerobik merupakan teknologi yang bermanfaat untuk mengurangi pencemaran lingkungan dan disisi lain proses ini memiliki beberapa kelemahan seperti membutuhkan waktu retensi yang lama untuk mendegradasi senyawa organik (Park et al 2005 dalam Khalid 2011).

III. METODOLOGI PENELITIAN

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kotoran hewan sapi sebanyak 16 kg. Untuk sampah sayuran berasal dari sampah pertanian setempat Desa Cibodas, Kabupaten Bandung. Sampah sayuran dicacah sebanyak 15 kg dan kemudian dibagi sesuai rancangan percobaan yang telah ditentukan kemudian diaduk agar campurannya merata sebelum dimasukkan kedalam reaktor. Reaktor yang digunakan merupakan jenis batch dengan kapasitas volume 19 liter. Skema reaktor yang digunakan untuk penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema Reaktor Anaerob

Keterangan:

1. Galon air bekas ukuran 19 Liter.
2. Area penyimpanan sampah campuran.
3. Pipa PVC, berfungsi sebagai media pengambilan sample.
4. Tutup galon berlubang, berfungsi untuk menyangga pipa PVC dari atas.
5. Penutup pipa PVC, berfungsi untuk menutup pipa agar tidak terjadi kebocoran gas atau masuknya udara.
6. Sambungan selang berbentuk L, berfungsi untuk menyambungkan selang didalam reaktor menuju selang kantong penampung gas.
7. Roller Clamp, berfungsi untuk menghentikan dan mengalirkan gas dari reaktor menuju kantong penampung gas.
8. Selang, berfungsi untuk menyalurkan gas yang dihasilkan dari dalam reaktor menuju kantong pemanpung gas.
9. Penampung gas (Kantong Urin), berfungsi untuk menampung gas dengan penampungan maksimal 2 Liter/kantong.
10. Area penampungan gas, berfungsi untuk menampung gas yang dihasilkan dari dalam reaktor.
11. T-Valve, berfungsi untuk mengeluarkan gas.

Penelitian dilakukan dua tahap, yaitu karakterisasi bahan (kotoran sapi dan limbah sayuran) dan produksi biogas menggunakan digester tipe batch. Limbah sayuran dari petani di Desa Cibodas dicacah dengan alat pencacah. Kotoran sapi segar diperoleh dari peternak sapi perah di Desa Cibodas. Limbah sayuran dan kotoran sapi akan dicampur hingga rata. Campuran ini lalu diencerkan dengan air perbandingan 1:1. Variabel yang digunakan adalah kotoran sapi (%KH) : sampah sayuran (%LS) dengan perbandingan 100:0 (P1); 75:25 (P4); 50:50 (P3); 25:75 (P5); 0:100 (P2). Campuran tersebut kemudian dimasukan kedalam masing-masing reaktor dan ditutup rapat.

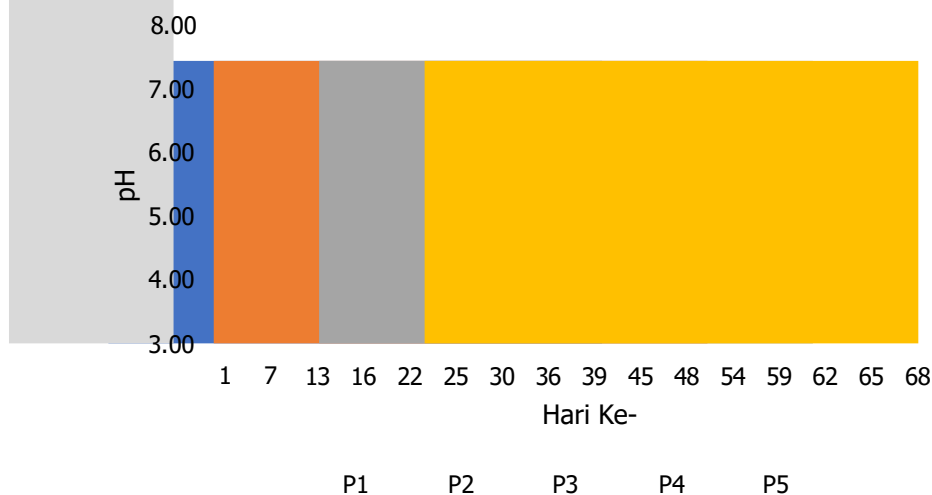
Pada setiap unit perlakuan dilakukan pengulangan sebanyak 2 kali untuk mengurangi kekeliruan dalam penelitian dan meningkatkan ketelitian dalam percobaan dan diamati selama 70 hari. Pengukuran pH dilakukan setiap hari selama 70 hari penelitian. Kemudian pengukuran COD dilakukan 4 hari sekali selama 70 hari, pengukuran VFA 2 minggu sekali selama 70 hari dan biogas yang diperoleh dari hasil dekomposisi ditampung dalam kantong penampung biogas berkapasitas 2 liter kemudian diukur setiap harinya untuk mengetahui jumlah produksi biogas dari tiap variasi.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam proses dekomposisi secara anaerob, mikroorganisme berperan penting dalam mendegradasi senyawa-senyawa organik. Mikroorganisme dapat hidup pada pH yang optimum agar dapat mendekomposisi sampah secara optimal. Dilakukan pengukuran parameter pH, COD dan VFA guna melihat proses dekomposisi yang terjadi didalam tiap-tiap variasi reaktor.

4.1 Hasil Pengukuran pH

Derajat keasaman (pH) adalah salah satu parameter yang dapat mempengaruhi aktivitas mikroorganisme selama proses dekomposisi. Selama proses dekomposisi berlangsung, pH akan mengalami perubahan. Perubahan pH merupakan salah satu indikator untuk mengetahui berjalan baik atau tidaknya proses dekomposisi pada bahan organik. Perubahan pH bahan selama proses dekomposisi berlangsung dapat dilihat pada Gambar 2.



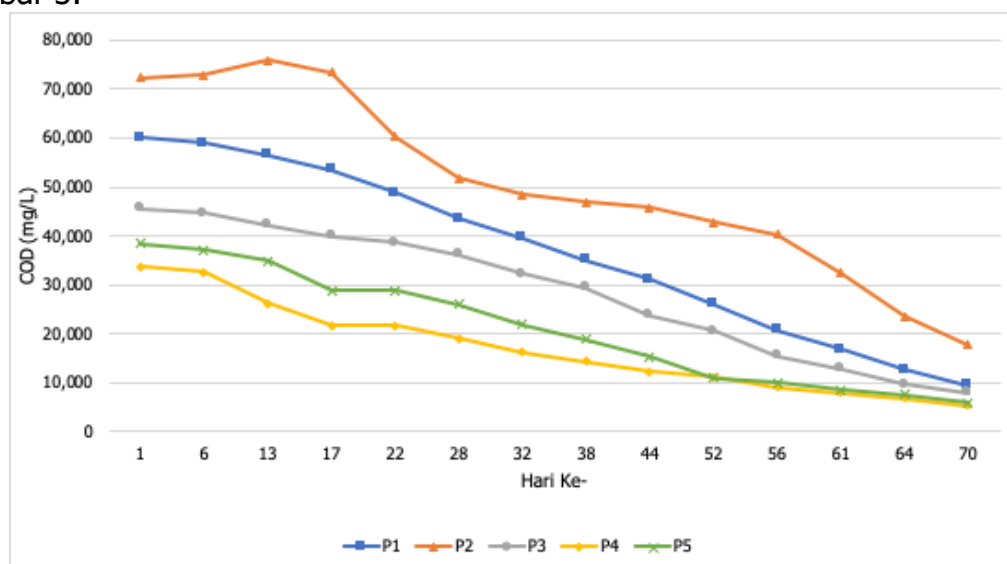
Gambar 2. Hasil Pengukuran pH

Nilai pH optimal untuk proses dekomposisi berkisar 6,5–7,5 untuk mendapatkan hasil biogas yang maksimal untuk pH optimum fase hidrolisis dan asitogenesis berada pada kisaran 4,0–6,3 serta untuk fase metanogenesis kisaran 6,7–7,5 (Deublein dan Steinhauser, 2008). Mengacu pada gambar diatas, dapat diketahui bahwa perubahan pH bahan dari proses dekomposisi selama 70 hari berkisar antara 5–7,5, keadaan tersebut masih termasuk dalam kisaran pH optimum dalam pengolahan sampah organik secara anaerob. Nilai pH pada minggu

pertama cenderung asam yaitu berkisar 5,2-6,3. Adanya penurunan pada nilai pH dikarenakan pertumbuhan mikroba yang cepat dan kemudian membentuk asam-asam organik. Nilai pH kemudian akan meningkat secara bertahap karena adanya meningkatnya NH_3 yang dihasilkan oleh reaksi biokimia yang berasal dari bahan yang mengandung N tinggi. Peningkatan pH disebabkan oleh hasil proses dekomposisi bahan organik seperti asam organik yang dikonversikan menjadi metana dan CO_2 . Kenaikan pH pada kondisi asam menjadi kondisi netral sampai akhir penelitian menunjukkan bahwa perbedaan variasi dapat menjaga pH masing-masing tetap stabil dalam kondisi optimum didalam reaktor anaerob tersebut.

4.2 Hasil Pengukuran Chemical Oxygen Demand (COD)

Chemical oxygen demand (COD) atau kebutuhan oksigen kimia adalah salah satu parameter yang mempengaruhi terjadinya biodegradasi. Pengukuran COD mendeteksi keseluruhan senyawa organik, baik organik kompleks maupun organik sederhana dan mengindikasikan adanya unsur C dan N yang memiliki pengaruh pada bahan organik menjadi gas metan oleh bakteri metanogen. Kadar COD dalam limbah berkurang seiring dengan berkurangnya konsentrasi bahan organik yang terdapat dalam limbah. Penurunan COD pada bahan organik dapat dilihat pada Gambar 3.



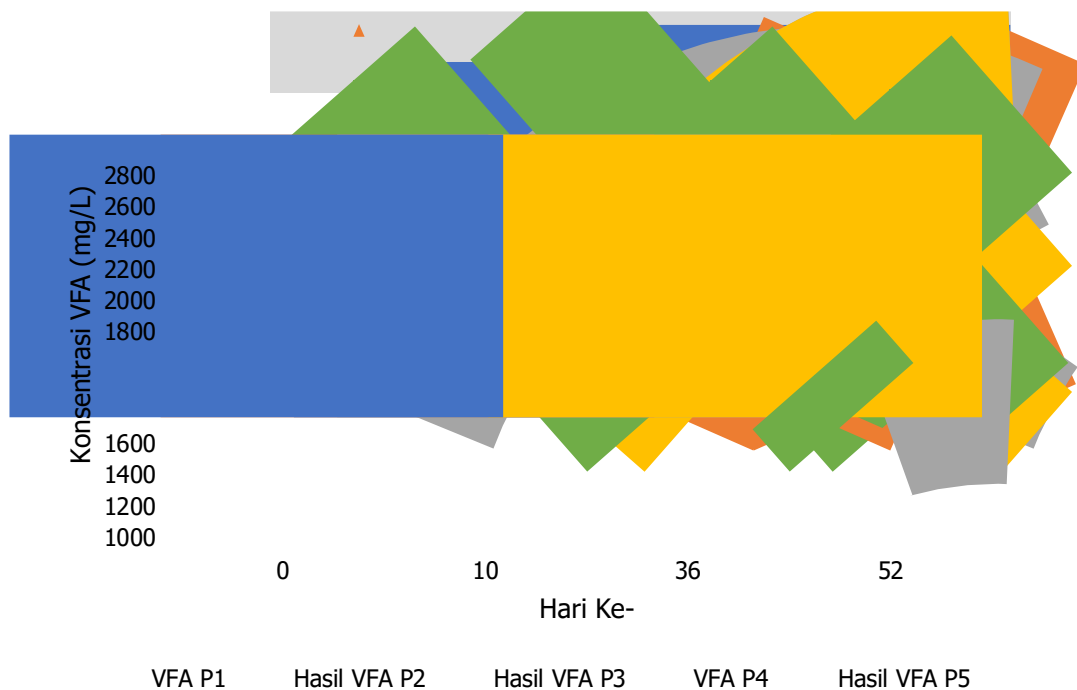
Gambar 3. Hasil Pengukuran COD

Pada variasi P1, pengukuran kadar COD mengalami penurunan konsentrasi sampai dengan persentase penyisihan sebesar 84%. Pada variasi P2 persentase penyisihan sebesar 76%. Pada variasi P3 persentase penyisihan sebesar 86%. Pada variasi P4 persentase penyisihan sebesar 86%. Pada variasi P5 persentase penyisihan sebesar 83%. Penurunan kadar COD menunjukkan bahwa bahan organik terdegradasi dengan baik dan menandakan mulainya proses asetogenesis dan metanogenesis. Pada proses asetogenesis, hasil dari proses asidogenesis diubah menjadi asam asetat, karbon dioksida, dan hidrogen. Triansyah (2018), menyebutkan bahwa sekitar 70% dari kadar COD semula diubah menjadi asam asetat, oleh karena itu kadar COD menurun. Pada proses metanogenesis, asam asetat dari sisa proses asetogenesis dirombak menjadi biogas yang juga menyebabkan kadar COD yang menurun.

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa semakin lama waktu tinggal, maka nilai COD akhir semakin turun. Hal ini disebabkan semakin lama waktu tinggal akan memberi banyak kesempatan pada mikroorganisme untuk memecah bahan-bahan organik yang terkandung di dalam limbah. Di sisi lain dapat diamati pula bahwa semakin kecil nilai COD awal (sebelum treatment dilakukan) akan menimbulkan kecenderungan penurunan nilai COD akhir sehingga persentase penurunan COD nya meningkat. Karena dengan COD awal yang kecil ini, kandungan bahan organik dalam limbah pun sedikit.

4.3 Volatile Fatty Acid (VFA)

Volatile Fatty Acid (VFA), merupakan parameter yang penting dalam pembentukan gas metana dan untuk mengetahui fase asam pada proses dekomposisi. Proses pembentukan VFA terjadi pada fase asidogenesis, VFA merupakan makanan bagi mikroorganisme metanogen untuk pembentukan gas metan. Volatil fatty acid yang terbentuk biasanya berupa propionate dan butirat dan komponen asam terbesar adalah asam asetat. Asam asetat ini substrat dalam pembentuk gas metan (Sjafruddin & Aziz 2017). Hasil pengukuran VFA selama proses dekomposisi berlangsung dapat dilihat pada Gambar 4.

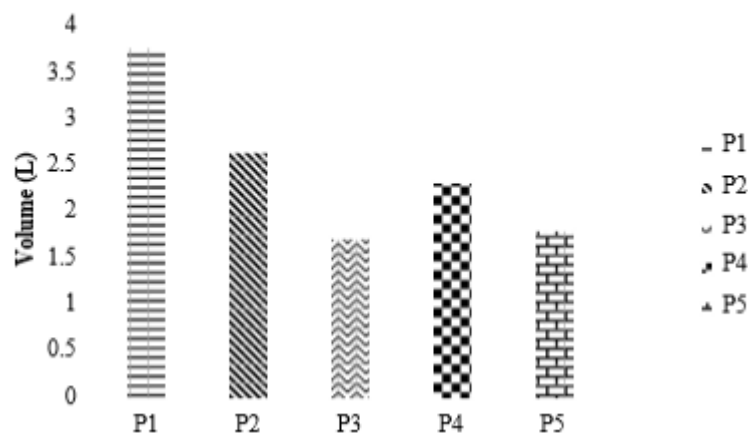


Gambar 4. Hasil Pengukuran VFA

Hasil penelitian menunjukkan konsentrasi VFA tinggi dan cenderung mengalami kenaikan pada pengukuran hari ke-36 dikarenakan bakteri fakultatif akan bekerja untuk memproduksi VFA lalu mengkonversikannya menjadi asam organik. Pada tahap ini akan menghasilkan asam asetat, asam propionat, asam butirat dan etanol maka dari itu konsentrasi VFA akan melonjak. Lalu akan mengalami penurunan konsentrasi VFA dikarenakan bakteri pembentuk asam mengkonversi hasil VFA sehingga kadar alkanitas meningkat yang mengakibatkan kenaikan pH dan pembentukan VFA pada tahap asidogenesis akan membentuk asam lemak rantai pendek (Mujdalipah et al 2014) dan pada kondisi ini memasuki fase metanogenesis.

4.4 Volume Biogas

Pada penelitian ini pengukuran volume biogas dilakukan setiap hari selama 70 hari menggunakan kantong penampung biogas. Dalam pembentukan biogas dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti aktivitas mikroorganisme dan faktor lingkungan. Pengukuran ini dilakukan untuk mengetahui berapa banyak volume biogas yang dihasilkan pada masing-masing variasi. Hasil kumulatif volume biogas dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram Kumulatif Volume Biogas

Dari hasil penelitian didapatkan bahwa kumulatif volume variasi P1 menghasilkan volume gas yang paling besar yakni 3.8 liter, kemudian variasi P2 sebesar 2.7 liter, P4 sebesar 2.35 liter, P3 sebesar 1.85 liter dan kumulatif volume biogas terkecil ada pada P3 sebesar 1.75 liter. Pengukuran dilakukan dengan cara mencelupkan kantong penampung yang telah terisi biogas kedalam ember yang berisikan air, volume air yang keluar merupakan volume biogas yang ada dalam kantong penampung tersebut. Pada penelitian ini, volume biogas yang terlihat penuh belum tentu berisikan gas metan yang banyak pula. Umumnya kandungan

biogas dalam reaktor biogas menghasilkan gas metana sebesar 50-80% (% Volume) dan gas karbondioksida 20-50 (%Volume) (Triansyah, 2018). Biogas yang dihasilkan pada penelitian ini juga lebih rendah daripada hasil biogas pada umumnya, kemungkinan hal ini terjadi dikarenakan oleh beberapa hal diantaranya yaitu ukuran reaktor yang kecil menyebabkan biogas yang terproduksi sedikit dan penutup pipa untuk menguji parameter lainnya yang mengalami kebocoran atau tidak tertutup dengan rapat diduga menyebabkan bahan organik terkontaminasi oleh udara yang keluar atau masuk didalam reaktor.

4.5 Kualitas Biogas

Pada penelitian ini analisis dilakukan untuk mengetahui kualitas biogas dari seluruh reaktor yang diteliti dan mencari tahu reaktor mana yang paling baik dalam menghasilkan gas metana (CH_4), juga untuk mengetahui besar kandungan gas nitrogen (N_2), karbon dioksida (CO_2) dan oksigen (O_2) dalam pembentukan biogas. Cara pengambilan sampel uji yaitu dilakukan sampling biogas terlebih dahulu dengan cara biogas ditampung selama beberapa hari didalam reaktor sampai mengisi kantong penampung biogas yang telah tersambung dengan reaktor dan nantinya ketika kantong sudah terisi cukup penuh, kantong tersebut akan dikemas dengan cara selang penyambung diikat dan tutup dengan lem agar tidak bocor untuk dikirim dan dianalisis di laboratorium Teknik Kimia, Universitas Indonesia, kemudian disambung dengan kantong baru untuk menampung gas kembali. Setelah sampel sampai di laboratorium, sampel biogas ada didalam kantong penampung akan dialirkan ke alat ukur gas yaitu gas kromatografi dengan thermal conductivity detector (GC-TCD) dan didapatkan data analisis komposisi kualitas biogas. Hasil analisis produksi biogas dapat dilihat pada Tabel 2

Tabel 2. Komposisi Gas Hasil Produksi Biogas

Jenis Sampel	Produksi Biogas Hari Ke- (%)							
	Hari ke- 30				Hari ke- 60			
	CO_2	O_2	CH_4	N_2	CO_2	O_2	CH_4	N_2
P1	5.13	13.35	41.91	39.59	9.90	11.45	37.85	40.77
P2	6.21	14.41	0.01	79.38	2.09	15.45	ND	82.52
P3	4.48	14.17	ND	81.36	3.23	11.41	ND	85.36
P4	0.04	11.79	ND	88.17	3.25	3.23	ND	83.47
P5	0.04	11.42	ND	88.55	0.78	8.19	ND	90.86
ND= Tidak terdeteksi								

Hasil analisis komposisi biogas menunjukkan dari lima variasi pada hari ke-30 didapatkan kandungan gas metan pada reaktor P1 41.91% dan pada reaktor P2 dan 0.02%. Namun untuk reaktor P3, P4 dan P5 tidak terdapat gas metan dan hasil yang cukup besar ada pada gas nitrogen (N_2) sebesar 81.36% pada reaktor P3, 88.17% pada reaktor P4 dan 88.55% pada reaktor P5. Kemudian dihari ke-60 hasil analisis menunjukkan kandungan gas metan hanya pada reaktor P1 sebesar

37.85% dan tidak ada kandungan gas metana pada reaktor lainnya. Hasil kandungan gas nitrogen cukup tinggi pada setiap reaktor dan pada reaktor P1 sebesar 40.77%, reaktor P2 sebanyak 82.5%, reaktor P3 sebanyak 85.36%, reaktor P4 sebanyak 83.47% dan reaktor P5 sebanyak 90.86%. Dari tabel hasil penelitian terlihat komposisi biogas pada setiap variasi menunjukkan hasil gas yang didapatkan terbanyak adalah gas nitrogen (N_2) dan yang kedua terbanyak adalah gas oksigen (O_2). Menurut Ginting (1992) dalam Kamal (2019), masuknya udara akan mempercepat produksi asam organik, menambah karbondioksida tetapi mengurangi metan. Pengaturan keasaman sangat perlu sebab zat metan sangat sensitif terhadap perubahan pH. Nilai pH diusahakan berkisar antara 6 dan 8 agar perkembangan mikroorganisme sangat pesat. Namun, pada kecepatan produksi gas pengaruh variasi pH sangat nyata untuk lebih mengaktifkan kegiatan mikroba. Temperatur sangat berpengaruh, kecepatan fermentasi meningkat bila temperatur mendekati $30^\circ C$. Bila pencampuran atau kontak yang baik dilaksanakan secara tepat, alkalinitas dapat diatur dan temperatur bias dikontrol dan tersedia bahan makanan bagi mikroba. Pembentukan gas metan kecil dikarenakan pengaruh waktu fermentasi yang lama sehingga kadar gas metan yang dihasilkan kecil dan lama kelamaan akan menghilang (Novita et al., 2018).

V. KESIMPULAN

Kesimpulan berisi sebagai berikut:

- a. Karakteristik kotoran sapi memiliki nilai C-organik yang sangat tinggi (45%) jika dibandingkan dengan sayuran (36%), namun sayuran memiliki nilai Nitrogen lebih tinggi (1,39%) jika dibandingkan dengan kotoran sapi (1,22%).
- b. Dalam waktu 70 hari proses dekomposisi dengan variasi bahan baku nilai pH dan temperatur selama penelitian ini masih dalam kondisi yang baik untuk proses dekomposisi secara anaerob. Kadar COD untuk semua reaktor semakin lama waktu tinggal nilai COD akhir semakin turun menandakan bahwa bahan organik terdegradasi efektif. Kadar VFA awal dan akhir variasi P1 sebesar 1980 mg/l-1440 mg/l, P3 sebesar 1980-1920mg/l, P4 sebesar 1680- 1800 mg/l dan P5 sebesar 1980-1920mg/l berada dalam kondisi baik yaitu dibawah 2000 mg/l sedangkan P2 kadar VFA melebihi 2000 mg/L dan menyebabkan produksi biogas yang dihasilkan kurang optimal karena gangguan keseimbangan pada bakteri dan menurunkan kinerja pada proses hidrolisis yang menyebabkan kematian pada mikroorganisme.
- c. Produksi biogas paling tinggi ada pada variasi P1 sebesar 3.8 liter. Reaktor P1 menghasilkan gas metan pada hari ke-30 sebesar 41,91% dan hari ke-60 sebesar 37,9 %. Dari hasil total solid sebesar 7,32%, volatile solid sebesar 85,6%, rasio C/N sebesar 36,7%, kadar VFA dihasilkan oleh variasi P1 yaitu 1440 mg/l – 1980 mg/l dan nilai COD pada awal penelitian sebesar 60.065 mg/L menjadi 9.400 mg/L pada hari ke-70 menandakan bahwa reaktor P1 adalah reaktor yang berkerja paling optimum.

DAFTAR PUSTAKA

- Bahrin, dkk, 2011. Pengaruh jenis sampah, komposisi masukan dan waktu tinggal terhadap komposisi biogas dari sampah organik pasar di kota Palembang. Palembang: Universitas sriwijaya.
- Deublein, D. dan Steinhauser, A., (2008). "Biogas from Waste and Renewable Resources. An Introduction". WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.
- Haryanto, A. 2014. Energi Terbarukan. Innosain. Yogyakarta. 468 hlm.
- Kamal, N. 2019. 'Kajian Pengaruh Media Penambat Pada Reaktor Biogas Fluidized Bed' Jurnal Teknologi Volume I, Edisi 33.
- Khalid, A., Arshad, M., Anjum, M., Mahmood, T., & Dawson, L. (2011). The anaerobic digestion of solid organic waste. *Waste Management*, 31(8), 1737–1744.
- Mujdalipah, S., Dohong, S., Suryani, A., & Fitria, A. (2014). Pengaruh Waktu Fermentasi Terhadap Produksi Biogas Menggunakan Digester Dua Tahap Pada Berbagai Konsentrasi Palm Oil-Mill Effluent Dan Lumpur Aktif. Pengaruh Waktu Fermentasi Terhadap Produksi Biogas Menggunakan Digester Dua Tahap Pada Berbagai Konsentrasi Palm Oil-Mill Effluent Dan Lumpur Aktif, 34(1), 56–64. <https://doi.org/10.22146/agritech.9523>
- Novita, E., Wahyuningsih, S., & Pradana, H. A. (2018). Variasi Komposisi Input Proses Anaerobik Untuk Produksi Biogas Pada Penanganan Limbah Cair Kopi. *Jurnal Agroteknologi*, 12(01), 43.
- Six, Lasse., F. Velghe, S. Verstichel, and S. De Meester. 2016. *Biotransformation of Agricultural Waste and By-Products: The Food, Feed, Fibre, Fuel (4F) Economy Sustainability Considerations on the Valorization of Organic Waste*. Elsevier Inc.
- Sjafruddin, R., Azis, A., Kimia, J. T., Negeri, P., & Pandang, U. (2017). Pemanfaatan Limbah Cair Industri Gula Rafinasi Sebagai Bahan. 2017, 55- 60
- Triansyah M. 2018. Efektifitas Biodegradasi Sampah Sayuran Dengan Penambahan Bioaktivator Kotoran Sapi. Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia.