

## Produksi Biogas secara Anaerob dari Popok Bayi Bekas dan Limbah Organik

*(Biogas Production by Anaerobic from Used Baby Diapers and Organik Waste)*

Asrianti Asrianti<sup>1\*</sup>, Ruslan Kalla<sup>1,2</sup>, N Nurjannah<sup>1,2</sup>, M Arman<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Magister Teknik Kimia Program Pascasarjana Universitas Muslim Indonesia  
Jln. Urip Sumoharjo No. 225 Makassar 90232

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri Universitas Muslim Indonesia  
Jln. Urip Sumoharjo Km. 05, Kampus II UMI, Fax (0411)447562 Makassar 90231

### Inti Sari

Biogas adalah salah satu sumber bioenergi alternatif yang dihasilkan dari fermentasi anaerob dari limbah organik. Limbah rumah tangga termasuk limbah yang belum banyak dimanfaatkan dan berpotensi menjadi biogas. Pada penelitian ini dilakukan metode fermentasi anaerob dengan menggunakan substrat limbah organik dari kulit pisang dan sisa sayur kubis, popok bayi bekas dan kotoran sapi sebagai starter dibuat dalam tiga komposisi. Perbandingan limbah organik, popok bayi bekas dan kotoran sapi pada Digester 1 yaitu, 4: 0: 6, pada Digester 2 yaitu 3: 1: 6 dan Digester 3 yaitu 2: 2: 6 dengan rasio C/N campuran substrat berturut-turut 17.17, 15.51 dan 13.85. Pengamatan fermentasi selama waktu retensi 21 hari, suhu didalam Digester relative sama setiap hari yaitu 25-29 °C pada pagi hari dan 31-34,5 °C pada sore hari sehingga suhu digester sangat dipengaruhi suhu lingkungan. Hasil penelitian Digester 1 menghasilkan gas dengan tekanan optimal 1,0223 atm pada hari ke-10 dan gas tidak menyala. Adanya substrat popok bayi bekas pada Digester 2 dan Digester 3 menjadi inhibitor pencernaan anaerobic sehingga tidak menghasilkan gas. Analisis dengan *Gas Cromatografi* pada slurry biogas menunjukkan komposisi *volatile fatty acid (VFA)* sebagai substrat pembentukan gas metan pada Digester 1 mengandung asam asetat dan asam propionate, Digester 2 mengandung asam asetat dan asam butirat dan asam organik lain dan Digester 3 hanya mengandung asam organik lain.

**Kata Kunci;** Biogas; Anaerob;  
Popok Bayi Bekas; C/N; VFA

**Key Words;** Biogas; Anaerob;  
Used Baby Diaper; C/N; VFA

### Abstract

*Biogas is one of the alternative sources of bioenergy produced from anaerobic fermentation of organic waste Household waste includes waste that has not been widely used and has the potential to become biogas. In this study, anaerobic fermentation method was used with a substrate of organik waste from banana peels and cabbage vegetable waste, used baby diapers and cow feses as a starter was made in three compositions. The ratio of organik waste, used baby diapers and cow feses in Digester 1 is 4: 0: 6, Digester 2 is 3: 1: 6 and Digester 3 is 2: 2: 6 with a C/N ratio of the substrate mixture respectively 17.17, 15.51 and*

### Published by

Department of Chemical Engineering  
Faculty of Industrial Technology  
Universitas Muslim Indonesia, Makassar

### Address

Jalan Urip Sumohardjo km. 05 (Kampus 2 UMI)  
Makassar- Sulawesi Selatan

### Phone Number

+62 852 5560 3559  
+62 852 4220 3009

### Corresponding Author

asrianti.chalik@gmail.com



### Journal History

Paper received : 12 Oktober 2020  
Received in revised : 05 Mei 2021  
Accepted : 23 Juli 2021

---

13.85. Observations of fermentation during the retention time of 21 days, temperature in the digester is relatively the same every day, namely 25-29 °C at morning and 31-34.5°C at afternoon so that temperature of the digester is strongly influenced by environmental temperature. From the research, Digester 1 produces gas with an optimal pressure of 1.0223 atm on the 10<sup>th</sup> day and the gas does not ignite. The presence of a used baby diaper substrate on Digester 2 and Digester 3 becomes an anaerobic digestion inhibitor so that it does not produce gas. Analysis with Gas Chromatography on biogas slurry shows the composition of volatile fatty acid (VFA) as a substrate for methane gas in Digester 1 containing acetic acid and propionate acid, Digester 2 contains acetic acid, butyric acid and other organik acids and Digester 3 only contains other organik acids.

---

## PENDAHULUAN

Indonesia menghadapi masalah dibidang krisis energi. Komsumsi energi tanpa menggunakan biomassa tradisional pada tahun 2018 sekitar 114 MTOE terdiri dari sektor transportasi 40%, kemudian industri 36%, rumah tangga 16%, komersial dan sektor lainnya masing-masing 6% dan 2% [20]. Jenis energi yang mengalami pertumbuhan cepat adalah energi untuk kebutuhan rumah tangga seperti LPG, listrik, dan gas bumi yang tumbuh dengan rata-rata tahunan 20%, 7%, dan 5%. Komsumsi LPG sebesar 7,5 juta ton pada tahun 2018 berasal dari dari produksi LPG dalam negeri sebesar 2 juta ton (26%) dan impor 5,5 juta ton (74%). Adanya program konversi energi dari minyak tanah ke LPG menyebabkan komsumsi LPG terus meningkat Disisi lain persediaan LPG dari kilang minyak dalam negeri terbatas. Perkembangan pesat konsumsi energi terjadi dalam periode 2005-2009 dimana impor LPG meningkat signifikan yaitu 22.166 ton menjadi 917.171 ton [7].

Sumber energi utama dari minyak bumi menunjukkan produksi yang semakin berkurang sehingga mendorong pemerintah untuk meningkatkan peran energi baru dan terbarukan secara terus menerus sebagai komitmen dalam menjaga ketahanan dan kemandirian energi serta pengurangan emisi gas rumah kaca. Indonesia mempunyai potensi energi baru terbarukan yang cukup besar sebagai bioenergi yaitu BBN dan Biogas [20].

Selain energy, hal yang perlu mendapat perhatian yaitu limbah organik rumah tangga seperti kulit pisang. Kulit pisang masih belum mendapatkan penanganan yang cukup padahal pada kulit pisang diketahui mengandung pati, protein dan serat yang cukup tinggi, dan tebal kulit pisang adalah 41 bagian dari buahnya, oleh karena itu diperlukan inovasi untuk memanfaatkannya [24]. Limbah organik mengandung biomassa yang dapat dikonversi menjadi bioenergi

melalui proses fermentasi anaerob menghasilkan biogas [9]. Jenis limbah lain yang banyak dihasilkan dalam skala rumah tangga yaitu popok bayi.

Penggunaan popok bayi sekaligus meningkatkan jumlah limbah yang dapat mencemari lingkungan dan mengganggu kesehatan, maka perlu upaya pemanfaatannya dengan diolah menjadi biogas. Bahan baku popok bayi terbuat dari *pulp* yang tersusun dari polimer selulosa dan setelah digunakan umumnya mengandung feses maupun urin [23]. Komposisi serat *pulp* selulosa yang digunakan dalam popok sekali pakai yaitu serat selulosa halus (standar) sebesar 23% dan serat kimawi (*pulp* halus yang dimodifikasi atau dapat dimampatkan) sebesar 20% [19]. Hasil pengukuran aktivitas ekstrak kasar enzim hasil fermentasi anaerob menunjukkan bahwa selulosa pada *pulp* popok bayi bekas yang mengandung urin dapat didegradasi oleh jamur selulolitik [10].

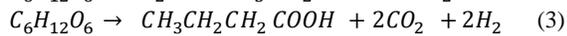
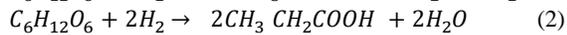
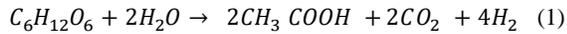
Limbah peternakan sapi yang dapat dimanfaatkan adalah kotoran sapi. Dalam proses pembuangannya seringkali materi yang bersifat padat bercampur dengan urin dan gas seperti metana dan amoniak. Hal ini disebabkan karena sapi memiliki sistem pencernaan khusus yang menggunakan mikroorganisme yang berfungsi untuk mencerna selulosa dan lignin dari rumput berserat tinggi [5].

Biogas merupakan gas yang dihasilkan oleh aktivitas anaerobik yang mendegradasi bahan-bahan organik [8]. Kandungan biogas terdapat gas metana (CH<sub>4</sub>), karbondioksida (CO<sub>2</sub>) dan lainnya. Gas metana dari biogas merupakan bahan bakar yang mempunyai nilai kalor yang cukup tinggi 4800 sampai 6700 kkal/m<sup>3</sup>, sedangkan gas metana murni mengandung energi 8900 kkal/m<sup>3</sup>. Oleh karena itu biogas dapat menjadi sumber energi untuk keperluan penerangan, memasak, menggerakkan mesin dan sebagainya [17].

Tahap-tahap pembentukan biogas dalam *anaerobik digestion*, meliputi :

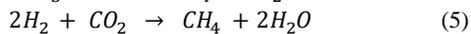
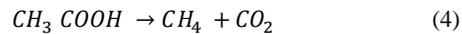
**Hidrolisis;** polimer karbohidarat, *lipid*, asam nukleat dan protein diubah menjadi monomer glukosa, purin dan pirimidin menggunakan mikroorganisme hidrolitik [1].

**Asidogenesis,** monomer glukosa, asam amino, dan asam lemak terdegradasi menjadi asetat, karbondioksida dan hidrogen (70%) sebagai produk asidogenesis serta menjadi Volatile Fatty Acid (VFA) dan alkohol (30%) oleh bakteri asidogenik [1]



**Asetogenesis,** produk asidogenesis (asam asetat) tidak dapat diubah secara langsung menjadi metana, tetapi menjadi substrat metanogen terlebih dahulu, sedangkan VFA dan alkohol dioksidasi menjadi substrat metanogen seperti asetat, hidrogen dan karbondioksida oleh bakteri asetogenik [1]

**Metanogenesis,** bakteri metanogen mengubah 70% asam asetat menjadi metana (CH<sub>4</sub>) sedangkan 30% sisanya dihasilkan dari konversi hidrogen (H<sub>2</sub>) dan karbondioksida (CO<sub>2</sub>), menurut persamaan berikut:



Proses pencernaan anaerobik sangat penting pada tahap metanogenesis karena pada tahap ini terjadi reaksi biokimia yang sangat lambat dan dipengaruhi oleh kondisi operasi [1].

Efisiensi *anaerobik digestion* dipengaruhi oleh beberapa parameter kritis, oleh karena itu kondisi yang tepat untuk mikroorganisme anaerobik harus disediakan.

**Rasio C/N,** Perbandingan Karbon (C) dan Nitrogen (N) dalam bahan organik menentukan kesesuaian bahan dalam sistem biogas [17]. Rasio optimum yang disarankan untuk digester anaerobik berkisar 20–30 [6].

**pH,** Kondisi pH 6,8-8 atau pH <7 menyebabkan laju pencernaan menurun dikarenakan tidak seimbangnya populasi bakteri metanogenik terhadap bakteri asam yang menyebabkan lingkungan menjadi sangat basa atau asam yang dapat menghambat kelangsungan hidup bakteri metanogenik [6].

**Suhu,** Salah satu yang berpengaruh terhadap produksi biogas adalah suhu. Suhu tinggi atau rendah menyebabkan bakteri metanogenik tidak aktif. Suhu optimum antara 25-30°C. Produksi biogas diluar suhu

tersebut memiliki kandungan karbondioksida yang tinggi. [6].

**Volatyl Fatty Acid, Volatil fatty acid** (VFA) atau asam lemak terbang adalah elemen penting dalam mengendalikan proses pencernaan anaerob. Memiliki dua peran penting menguraikan organik dan menghasilkan gas metana dan karbondioksida dalam digester. VFA yang terdiri dari asam-asam asetat, propionate dan butiran dengan komponen terbesar adalah asam asetat merupakan substrat metanogen untuk membentuk gas metana [16].

**Perlakuan dengan Amonia,** Perlakuan amoniasi dalam pencernaan anaerobik berfungsi sebagai bahan pengawet terhadap bakteri dan fungi yang berkembang pada bahan sumber nitrogen dan selama proses. Sumber amonia yang digunakan dapat berupa gas amonia, amonia cair, urea maupun urin. [11].

**Inhibitor,** adalah zat yang dapat memperlambat proses, menurunkan tingkat dekomposisi atau bahkan beracun. *Inhibitor* yang masuk digester melalui penambahan substrat atau terbentuk sebagai produk antara dari tahap dekomposisi. Yang termasuk dalam golongan *inhibitor* zat seperti antibiotika, desinfektan, pelarut, herbisida, garam dan logam berat [12].

Komponen utama dalam pembentukan biogas adalah digester. Digester bekerja dengan prinsip dalam ruang penampungan yang dikondisikan kedap udara (anaerob) sehingga bahan organik dapat terfermentasi oleh bakteri metanogen untuk menghasilkan biogas [18]

Penelitian yang akan dilakukan yaitu proses produksi biogas secara anaerob dengan variasi substrat dari popok bayi bekas dan limbah organik serta kotoran sapi sebagai starter untuk menghasilkan biogas, memantau parameter slurry dan kondisi operasi didalam digester.

## METODE PENELITIAN

### Alat dan Bahan

Alat utama penelitian seperangkat alat digester. Alat pendukung berupa seperangkat alat destilasi, neraca analitik, oven listrik, *furnace*, desikator, *hotplate*, *centrifuge*, *Gas Cromatograf*. Peralatan gelas berupa labu erlenmeyer, buret, pipet ukur, *bulb*, gelas kimia, labu takar, gelas ukur, tabung reaksi, *crucible porcelen*, timbangan, gelas ukur, pisau, gunting, botol sampel, wadah pencampur, kertas saring, pengaduk, lem pipa, lem lilin, korek api.

Bahan utama penelitian terdiri dari campuran limbah organik (kulit pisang dan sisa sayuran kubis rasio

1:1), popok bayi bekas yang mengandung urin, kotoran sapi dan air. Bahan pendukung terdiri dari H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pekat, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O, asam Borat, borax, NaOH, garam khjeldal (CuSO<sub>4</sub>:NaSO<sub>4</sub> rasio 1:9) sebagai katalis, Indikator metil merah (MM), Indicator Penolphtalein (PP), Indikator difenilamin, kertas pH Universal, larutan standar (asam asetat, propionate dan butirrat) dan aquadest.

**Tabel 1** Variabel Tetap dan Variabel Bebas

No.	Variable tetap	Variable bebas
1	Berat substrat per digester 5 kg	Variasi komposisi substrat limbah organik : popok bayi
2	Suhu operasi (suhu kamar)	bekas : kotoran sapi dengan perbandingan pada digester
3	Waktu operasi (21 hari)	1 (4:0:6), Digester 2 (3:1:6) dan digester 3 (2:2:6).

### Prosedur penelitian

#### 1. Pembuatan alat digester skala laboratorium

Digester terbuat dari gallon bekas air mineral dengan volume 6 L yang terbuat dari plastik berbahan PET (*Polyethylen Terephthalate*)

#### 2. Tahap persiapan bahan baku

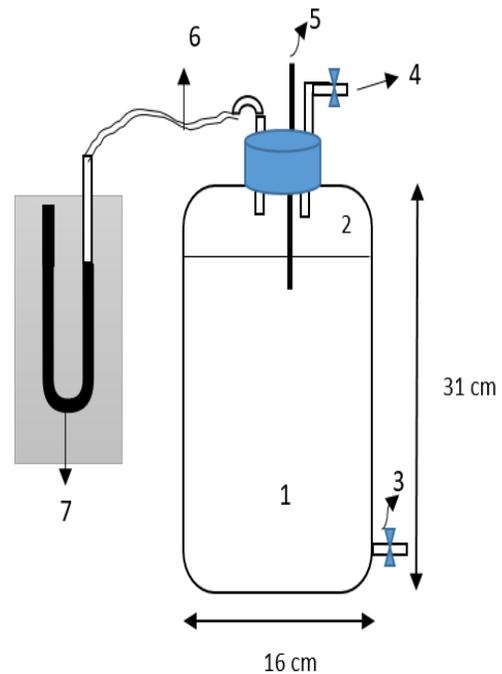
Limbah organik (kulit pisang dan sisa sayur kubis) dicacah dan dicampur dengan rasio 1:1. Popok bayi bekas dipisahkan dari bahan plastik dan mengambil bahan isian yang mengandung urin dan bahan berserat dan selanjutnya dipotong kecil-kecil. Kotoran sapi dibersihkan dari batuan kerikil. Dilakukan analisa pendahuluan berupa kadar organik dan rasio C/N.

#### 3. Tahap pencampuran dan pemasukan bahan ke dalam digester

Membuat campuran substrat sesuai dengan komposisi (variable bebas) lalu diaduk sampai homogen. Mengukur pH substrat awal. Campuran dimasukkan secara batch ke dalam digester dan memasang instalasi digester sesuai dengan rangkaian alat penelitian dan memastikan instalasi digester tidak ada kebocoran.

#### 4. Tahap fermentasi

Proses fermentasi berlangsung dengan kondisi anaerob selama 21 hari. Dilakukan pengujian beberapa parameter selama proses fermentasi dengan melakukan pengukuran suhu dan tekanan gas yang diamati setiap hari serta melakukan pengamatan uji pH, Volatil Fatty Acid (VFA) dan uji nyala pada hari ke-7, 14 dan 21.



**Gambar 1.** Rangkaian alat digester

Keterangan :

1. Tempat penampungan *slurry*
2. Tempat penampungan gas
3. Outlet cairan *slurry*
4. Outlet biogas untuk uji nyala
5. Termometer
6. Outlet biogas ke manometer U
7. Manometer

### Penentuan C-Organik metode Walkley and Black [5]

Masukkan 1 gram sampel ke dalam erlenmeyer 250 ml, kemudian tambahkan 10 ml 10 ml K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 1 N, dikocok, dan 20 ml H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pekat, kocok kembali. Diamkan 30 menit sambil sesekali dikocok ditambah dengan akuadest 100 ml, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 5 ml, dan indikator difenilamin sebanyak 1 ml. sampel dititrasi dengan larutan FeSO<sub>4</sub> 1 N hingga warna berubah jadi hijau. Catat volume titran. Kadar C organik dihitung dengan rumus :

$$C - organik = \frac{(N K_2Cr_2O_7 \times VK_2Cr_2O_7) - (N FeSO_4 \times V FeSO_4)}{berat\ sampel \times 0,77} \times 0,33 \quad (6)$$

### Penentuan N-total metode Kjeldahl, [21]

Sebanyak 1 g sampel ditimbang, dimasukkan ke dalam labu destruksi. Ditambahkan 1 gram katalis (CuSO<sub>4</sub> : Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> rasio 9:1) dan 15 ml H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pekat. Destruksi di dalam ruangan asam selama 4-6 jam dengan api kecil. Pemanasan dihentikan bila telah terbentuk

cairan berwarna bening kehijauan dandinginkan sampel. Tambahkan aquadest 40 ml dan 20 ml NaOH 40% ke dalam labu khedjal. Penambahan NaOH dilakukan secara cepat dan langsung ditutup. Destilasi dilakukan setelah larutan penampung berubah warna dari merah muda menjadi warna hijau. Destilat ditampung dalam erlenmeyer yang mengandung 10 mL larutan asam borat 2%. Destilat ditambahkan 1 tetes indikator metil merah dan dititrasi dengan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,05 N hingga larutan berubah warna. Lakukan pula titrasi blanko ta npa sampel

$$\% N = \frac{ml\ peniter - ml\ blanko \times N(0,05) \times BE(14)}{berat\ sampel\ (mg)} \times 100 \quad (7)$$

### Penentuan rasio C/N

Perbandingan C/N mengacu pada SNI 19-7030-2004, tentang spesifikasi kompos dari sampah organik domestic.

$$\text{Rasio C/N} = \frac{C\text{-organik}}{N\text{-total}} \quad (8)$$

### Kandungan Bahan Organik, [13]

Kandungan bahan organik yang meliputi kadar air, Total Solid (TS) dan Volatile Solids (VS). *Total solid* (TS) dan *volatile solid* (VS) dapat dihitung dengan metode gravimetri sesuai metode standar APHA 1998

Metode analisis TS dan VS adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan cawan petri yang sudah bersih kemudian ditimbang (w<sub>0</sub>).
2. Masukkan sampel limbah ke dalam cawan petri, lalu timbang (w<sub>1</sub>).
3. Panaskan ke dalam oven pada suhu 105°C selama 24 jam. Setelah 24 jam keluarkan dan masukkan cawan petri + residu ke dalam desikator setelah dingin lalu timbang (w<sub>3</sub>).
4. Masukkan cawan petri + residu kedalam tanur, setelah dibuka masukkan dalam desikator, diamkan hingga suhu normal dan timbang (w<sub>4</sub>).

$$TS\ \% = 100 - \text{Kadar Air}\ (\%) \quad (9)$$

$$TS\ (g) = \frac{TS\ \%}{100} \times W1 \quad (10)$$

$$VS\ (g) = \frac{W2 - W3}{W2} \quad (11)$$

### Penentuan Kadar Volatil Fatty Acid, [25]

Masukkan 5 ml sampel ke dalam gelas ukur 100 ml dan encerkan dengan 30 ml aquades. Ditambahkan 1 ml H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 15% kemudian dikocok. Masukkan campuran

dalam labu destilasi dan uapkan. Destilat ditampung dalam gelas ukur 50 ml. Sebanyak 3 ml destilat pertama dibuang 30 ml destilat selanjutnya dimasukkan dalam erlenmeyer 250 ml, tambahkan indikator phenolphthalein (PP) dititrasi menggunakan NaOH 0,1 N sampai sampel berwarna pink. Lakukan pula titrasi pada blanko. Banyaknya VFA sebagai berikut

$$VFA\ CH_3COOH\ (mg/L) = \frac{ml\ NaOH \times N\ NaOH \times 60.000}{ml\ sampel} \quad (12)$$

### Pengukuran Tekanan Gas, [15]

Pengukuran tekanan biogas dengan mengalirkan biogas melalui selang pada digester menuju manometer U. Beda ketinggian dalam pipa menunjukkan besarnya tekanan per cmH<sub>2</sub>O. Dengan pengukuran tersebut dapat dihitung dengan menggunakan rumus tekanan hidrostatik

$$P_{gauge} = \rho_{air} \times g \times \Delta h \quad (13)$$

Karena tekanan yang digunakan berupa tekanan absolut maka :

$$P_{abs} = P_{atm} + P_{gauge} \quad (14)$$

$$P_{abs} = P_{biogas}$$

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Produksi Biogas

Berdasarkan pengamatan proses produksi biogas secara anaerob diperoleh data pada Tabel 2 sebagai berikut :

Digester	Komposisi	Produksi Gas
D1	4 : 0 : 6	Terbentuk gas, gas tidak menyala
D2	3 : 1 : 6	Tidak terbentuk gas
D3	2 : 2 : 6	Tidak terbentuk gas

Tabel 2 menunjukkan bahwa pada digester 1 sudah terbentuk gas akan tetapi belum mampu menyala. Pada digester D2 dan digester D3 tidak terbentuk gas sama sekali. Produksi gas ditentukan oleh proses pencernaan mikroorganisme didalam digester. Pertumbuhan dan aktivitas mikroorganisme anaerob sangat dipengaruhi oleh kondisi seperti pengeluaran oksigen, suhu konstan, nilai pH, suplai nutrisi, intensitas pengadukan serta keberadaan dan jumlah inhibitor (misalnya amonia) [1]

## Pengaruh karakteristik bahan baku terhadap produksi gas

**Tabel 3** Karakteristik substrat

Parameter	Hasil Analisis		
	Popok Bayi Bekas	Limbah Organik	Kotoran Sapi
% Kadar Air	76.70	81.02	83.63
% <i>Total Solid</i>	23.30	18.98	16.37
% <i>Volatil Solid</i>	86.16	88.34	84.09
% C-organik	2.501	3.318	3.198
% N total	0.569	0.158	0.219
C/N	4.399	20.97	14.623

Tabel 3, menunjukkan bahwa popok bayi bekas, limbah organik dan kotoran sapi masing-masing mengandung bahan organik yang dapat digunakan sebagai substrat biogas dilihat dari kandungan kadar air, *total solid*, *volatile solid*, C-organik dan N-Total. Uji karakteristik bahan yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya, yaitu [3] dengan bahan kulit pisang diperoleh (C-organik 0,2%, N-total 0,06% , rasio C/N 3 dan kadar air 76%) dan pada kotoran sapi kandungan (C-organik 9,4%, N-organik 0,14%, rasio C/N 62,1 dan kadar air 76%). Sedangkan penelitian [2] rasio C/N kotoran sapi sebesar 13,80. Hasil analisis karakteristik sayur kubis yaitu carbon 3%, bahan organik 5,17%, nitrogen 0,21% dan rasio C/N 14,29 [14]

**Tabel 4.** Rasio C/N campuran substrat dalam digester

Parameter	Hasil Perhitungan		
	D1	D2	D3
Komposisi substrat	4:0:6	3:1:6	2:2:6
C/N	17.17	15.51	13.85

Tabel 4, menunjukkan substrat popok bayi bekas pada digester D2 dan D3 menyebabkan penurunan rasio C/N substrat campuran, dimana C/N pada popok bayi bekas sebesar 4,399%,. Hal ini dapat diakibatkan karena tingginya kadar nitrogen didalam substrat yaitu 0,569%. Nitrogen ini berasal dari kandungan urin didalam popok bayi. Berdasarkan hasil perhitungan rasio C/N dari ketiga digester memenuhi sebagai bahan isian digester. Menurut [12] agar proses penguraian bahan organik bekerja tanpa gangguan, maka rasio C/N berada pada kisaran 10–30.

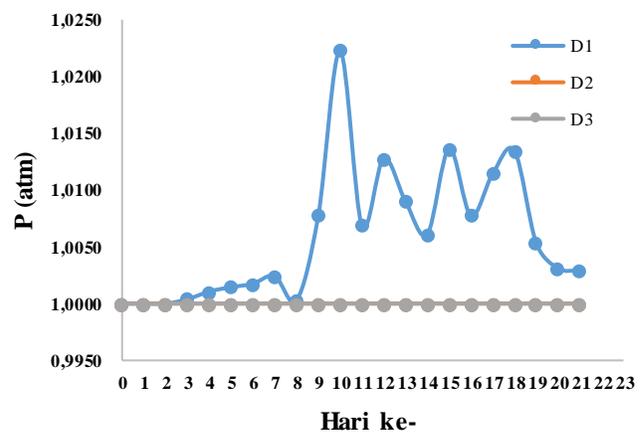
Berdasarkan hasil produksi biogas menunjukkan bahwa pada digester D1 mampu menghasilkan biogas sedangkan digester D2 dan D3

tidak menghasilkan gas selama waktu retensi 21 hari. Kegagalan pembentukan gas pada digester D2 dan D3 dapat diakibatkan karena adanya subtract popok bayi bekas yang mengandung nitrogen. Surplus nitrogen menyebabkan pembentukan amonia ( $\text{NH}_3$ ) dalam jumlah berlebihan. Kadar amonia dalam jumlah sedikit pun dapat menghambat pertumbuhan bakteri atau bahkan menyebabkan kematian mikroorganisme [12]

## Pengaruh suhu, waktu retensi dan uji nyala terhadap tekanan gas selama proses fermentasi anaerobik.

Berdasarkan pengukuran suhu menunjukkan bahwa suhu di dalam digester sangat dipengaruhi oleh suhu lingkungan. Pada pengamatan pagi hari suhu digester yaitu 25-29 °C sedangkan pada pengamatan sore hari suhu digester berkisar 31-34,5°C. Pengamatan suhu selama 21 hari menunjukkan suhu didalam digester sama setiap harinya. Produksi gas yang baik berada pada suhu yaitu antara 25-30°C. Biogas yang dihasilkan pada kondisi di luar temperatur tersebut mempunyai kandungan karbondioksida yang lebih tinggi [6].

Hasil pengukuran tekanan gas dapat dilihat pada Gambar 2 berikut :



**Gambar 2** Grafik hubungan tekanan biogas terhadap waktu fermentasi

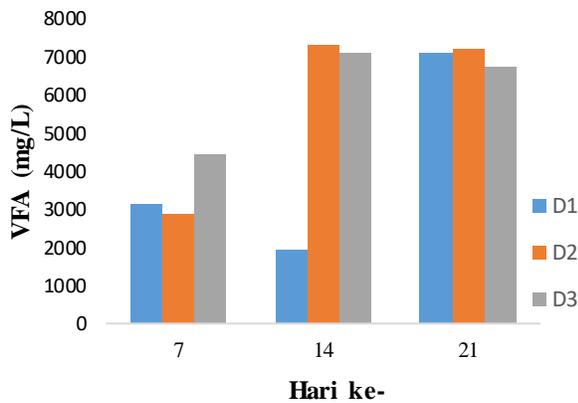
Gambar 2 terlihat bahwa produksi biogas pada digester D1 mulai terbentuk pada hari ke-3 dan mengalami peningkatan pada minggu ke-2. Produksi gas tertinggi dicapai pada waktu retensi 10 hari dengan tekanan gas sebesar 1,0223atm. Setelah hari ke 10 tekanan gas berfluktuasi hingga hari ke-18 dan tekanan gas terus menurun hingga pengamatan hari ke -21. Penurunan ini dapat diakibatkan karena berkurangnya substrat didalam digester maupun aktivitas

mikroorganisme yang sudah melambat. Sedangkan pada digester D2 dan D3 tidak terbentuk gas dan tekanan gas sama dengan tekanan lingkungan yaitu 1 atm. Faktor yang dapat mempengaruhi proses pencernaan anaerobik di dalam digester D2 dan D3, diantaranya rasio C/N substrat dan adanya zat *inhibitor* yang dapat mengganggu proses.

Berdasarkan uji nyala yang dilakukan pada hari ke-7, 14 dan 21 hari menunjukkan bahwa gas yang terbentuk pada digester D1 tidak dapat menyala. Menurut [16], uji nyala pada produk biogas, apabila tidak menyala berarti biogas tersebut hanya mengandung gas CO<sub>2</sub> dan kadar gas metannya sedikit atau tidak ada. Hal ini dapat diakibatkan oleh tidak stabilnya suhu didalam digester.

### Pengaruh VFA, pH, produksi gas terhadap waktu retensi

*Volatil fatty acid* (VFA) atau asam lemak terbang adalah elemen penting mengendalikan proses pencernaan anaerob. VFA terdiri dari asam-asam asetat, propionate dan butirat dengan komponen terbesar adalah asam asetat. Hasil analisis kadar VFA cairan slurry biogas dapat dilihat pada Gambar 3 berikut :



**Gambar 3** Grafik hubungan VFA terhadap waktu fermentasi

Gambar 3 menunjukkan hasil analisis VFA pada digester D1 pada pengamatan hari ke-7 sebanyak 3120 mg/L. Pada hari ke -14 mengalami penurunan sebesar 1920mg/L. Penurunan kadar VFA menunjukkan terjadinya konsumsi substrat untuk membentuk gas. Sedangkan pada hari ke-21 kadar VFA cenderung meningkat dan terjadi akumulasi VFA sebesar 7080mg/L. Akumulasi VFA dapat menghalangi pembentukan gas metan.

Hasil pengujian nyala gas yang terbentuk pada digester D1 tidak dapat menyala artinya biogas tidak mengandung gas metan dan hanya didominasi gas CO<sub>2</sub>. Tidak terbentuknya gas metan pada digester D1 dapat disebabkan oleh kondisi pH dalam slurry dimana proses pencernaan anaerobik didalam digester berlangsung pada pH ≤ 6 (Tabel 5). Kondisi pH yang optimum pada degradasi anaerobik yaitu pH 6,8-8 [6]

Pada digester D2 dan D3, VFA yang terbentuk pada hari ke-7 sebanyak 2880 mg/L dan 4440 mg/L dan meningkat pada hari ke 14 sebanyak 7320 mg/L dan 7080 mg/L dan sedikit mengalami penurunan pada hari ke-21. Meskipun terbentuk VFA didalam digester D2 dan D3 akan tetapi tidak mampu menghasilkan gas. Hal ini mengindikasikan tidak terjadinya proses pencernaan substrat untuk membentuk gas metan atau terhentinya aktifitas bakteri metanogen akibat kondisi pH yang asam akibat penumpukan VFA. VFA sangat dipengaruhi oleh kondisi pH didalam *slurry* [16]. Hubungan antara pH, VFA dan produksi gas dapat dilihat pada Table 5 berikut :

**Tabel 5** Hubungan VFA, pH dan produksi gas

Hari	D1			D2			D3		
	pH	VFA mg/L	Prod. gas	pH	VFA mg/L	Prod. gas	pH	VFA mg/L	Prod. gas
0	7	0	tidak ada gas	7	0	tidak ada gas	7	0	tidak ada gas
7	4	3120	ada gas/tidak menyala	6	2880	ada gas/tidak menyala	6	4440	ada gas/tidak menyala
14	5	1920	ada gas/tidak menyala	5	7320	ada gas/tidak menyala	5,5	7080	ada gas/tidak menyala
21	6	7080	ada gas/tidak menyala	6	7200	ada gas	6	6270	ada gas

Tabel 5 menunjukkan bahwa pH awal *slurry* digester D1, D2 dan D3 berada pada pH netral 7. Pada hari ke-1 sampai hari ke-7, kadar pH menurun ke pH 4 pada digester D1 dan pH 6 pada digester D2 dan D3. Pada tahap ini terjadi proses asidogenesis/ asetogenesis dimana gula sederhana, asam amino, dan asam lemak terdekomposisi menjadi asetat, karbondioksida dan hydrogen sebanyak 70% serta menjadi *volatile fatty acid* (VFA) dan alkohol sebanyak 30% [1]. Penurunan pH terus berlanjut pada hari ke-14 dan meningkat pada hari ke-21, dimana semua digester D1, D2 dan D3 menunjukkan pH 6. Produk dari asidogenesis berupa VFA (asam asetat, propionate dan butirat) akan menjadi substrat metanogen oleh bakteri metanogen pada tahap metanogenesis [1]

### Analisis pengaruh komposisi substrat dalam digester terhadap komponen senyawa dalam slurry biogas

Hasil fermentasi anaerobik selama 21 hari menunjukkan bahwa digester D1 (tanpa penambahan popok bayi bekas) mampu menghasilkan biogas meskipun gas tersebut tidak mampu menyala. Sedangkan digester D2 dan digester D3 (ada substrat popok bayi bekas dengan jumlah yang berbeda), kedua digester tersebut tidak mampu menghasilkan gas. Popok bayi

bekas sebagai substrat biogas dapat memberikan pengaruh yang sangat signifikan terhadap pembentukan biogas yaitu menjadi penghambat (inhibitor).

Untuk mengetahui faktor penghambat yang mempengaruhi terbentuknya gas dilakukan analisa Gas Kromatografi. Hasil analisis komponen senyawa *slurry* biogas pada hari ke-21 dapat dilihat pada Tabel 6 berikut :

**Tabel 6** Komposisi senyawa slurry biogas

Sampe l	Asam Asetat		Asam Propionat		Asam Butirat		Senyawa lain	
	RT	Area	RT	Area	RT	Area	RT	Area
D1	3.36 6	76016 6	3.49 5	27881 6				
D2	3.36 6	10997			3.507 - 3.599	9152 6	3.69 2	49800
D3							3673	15875 0

\*RT = Retensi Time

Tabel 6 menunjukkan bahwa pencernaan anaerobik pada digester D1 terbentuk asam asetat dan asam propionate. Terbentuknya asam asetat dengan luas area 76016 akan menjadi substrat pembentuk gas metan. Digester D2 terbentuk asam asetat dan asam butirat serta senyawa lain. Pada komposisi *slurry* biogas pada Digester D2 tidak mampu membentuk biogas meskipun mengandung asam asetat dengan luas area 10997. Sedangkan pada digester D3 tidak terbentuk asam asetat, propionate atau butirat tetapi terbentuk senyawa lain. Tidak terbentuknya gas pada digester D3 diakibatkan oleh tidak terdapatnya asam lemak volatile (VFA) yang dapat menjadi substrat pembentukan gas. Terbentuknya asam-asam organik pada *slurry* digester menunjukkan bahwa fermentasi anaerobik telah melewati tahap hidrolisis dan berlanjut pada tahap acidogenesis/asetogenesis.

Pada tahap asetogenesis, bakteri acetogenic mengubah substrat menjadi produk berupa asam asetat, hidrogen dan karbondioksida. Terbentuknya hidrogen dengan kadar tinggi dapat menghambat konversi produk antara asidogenesis disebabkan penggunaan energi. Hasilnya akan terbentuk asam organik, seperti asam propionat, asam isobutirat, asam isovaleric dan asam hexanoic, menumpuk dan menghambat pembentukan metana [12]

Berdasarkan analisis tersebut menunjukkan bahwa salah satu faktor yang menghambat pembentukan gas

metan pada ketiga digester adalah terbentuknya asam organik lain selain asam asetat pada tahap asetogenesis. Produk yang terbentuk pada tahap ini bisa menghambat ataupun menghentikan aktivitas mikroba metanogen pada tahap metanogenesis.

### KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka disimpulkan sebagai berikut :

1. Komposisi substrat terbaik pada proses produksi biogas yaitu pada digester D1 dengan perbandingan limbah organik, popok bayi bekas dan kotoran sapi 4:0:6 dengan tekanan gas optimal sebesar 1,0223 atm.
2. Kondisi *slurry* biogas selama fermentasi anaerob berdasarkan parameter uji (pH, VFA dan suhu) memberikan kondisi yang kurang baik bagi pertumbuhan mikroorganisme untuk menghasilkan biogas.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Al Seadi, T., Rutz, Dominic, Prassal, Heinz. 2008. *Biogas Handbook*, Denmark: *University of Southern Denmark Esbjerg, Niels Bohrs Vej 9-10, DK-6700 Esbjerg*.
- [2] Ardinal, Gewe, R., dan Raharjo, S., 2015. Studi Potensi Pembentukan Biogas dari Sampah Makanan dan ko-substrat Feses Sapi untuk Energi

- Listrik Alternatif: Studi Kasus di Universitas Andalas. *Jurnal Litbang Industri*, 5(2), pp.101–111.
- [3] Arthawidya, J., Sutrisno, E., dan Sumiyati, S. (2017). Analisis Komposisi Terbaik Dari Variasi C/N Rasio Menggunakan Limbah Kulit Buah Pisang, Sayuran Dan Kotoran Sapi Dengan Parameter C-Organik, N-Total, Phospor, Kalium Dan C/N Rasio Menggunakan Metode Vermikomposting. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 6(3).
- [4] Balai Penelitian Tanah (BPT). 2005. Petunjuk Teknis Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air dan Pupuk. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Departemen Pertanian. Agro Inovasi Bogor
- [5] Cahya M, R., 2014. Analisis Efisiensi dengan Penambahan Urin Sapi dalam Produksi Biogas. Universitas Telkom. Bandung.
- [6] Haryati, T., 2006. Biogas : limbah peternakan yang menjadipemberenergi alternatif. *Wartazoa*, 16(3), pp.160–169.
- [7] Kementerian ESDM, 2014. Impor LPG Indonesia 2003-2013, Available at: <https://databoks.katadata.co.id/>.
- [8] Megawati dan Wongso A, K., 2015. Pengaruh Penambahan EM4 (Effective Microorganism-4) Pada Pembuatan Biogas dari Enceng Gondok dan Rumen Sapi. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, 4(2), pp.42–49.
- [9] Mujahidah, Mappiratu, dan Sikanna, R. (2013). Kajian Teknologi Produksi Biogas Dari Sampah Basah Rumah Tangga. *Online Jurnal of Natural Science*, 2(1), 25–34.
- [10] Novianty, R., Dahliati, A., dan I, Nasution, N., 2020. Biodegradasi Popok Bayi Bekas Menggunakan Jamur dan Bakteri Selulolitik dengan Fermentasi Padat. *Inovasi Pendidikan dan Sains*, 01(01), pp.13–19.
- [11] Nurjannah, Ifa.L, dan Jaya.F, 2018. Produksi Bahan Bakar Gas Biomassa Dari Limbah Organik Industri (Molases). *Research Gate*, pp.87–95. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/326978455\\_Produksi\\_Bahan\\_Bakar\\_Gas\\_Biomassa\\_Dari\\_Limbah\\_Organik\\_Industri\\_Molases](https://www.researchgate.net/publication/326978455_Produksi_Bahan_Bakar_Gas_Biomassa_Dari_Limbah_Organik_Industri_Molases).
- [12] Ridlo, R., 2020. Dasar-Dasar Fermentasi Anaerobik. pp. 1–13. Retrieved from <https://ptseik.bppt.go.id/artikel-ilmiah/16-dasar-dasar-fermentasi-anaerobik?tmpl=component&print=1&page=>
- [13] Sanjaya, D., Haryanto, A. dan Tamrin, 2015. Produksi Biogas dari Campuran Kotoran Sapi dengan Kotoran Ayam. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*, 4, pp.127–136.
- [14] Sariyati, 2014. Pembuatan Biogas dari Sampah Sayur Kubis dan Kotoran Sapi. Universitas Setia Budi.
- [15] Sholeh, A., Sunyoto dan Hidayat, D., 2012. Analisis Komposisi Campuran Air dengan Limbah Kotoran Sapi dan Peletakan Posisi Digester terhadap Tekanan Gas yang Dihasilkan. *Journal of Mechanical Engineering Learning*, 1(1). Available at: <https://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/jmel/article/view/1916/1720>.
- [16] Sjafruddin, R. dan Azis, A., 2017. Pemanfaatan Limbah Cair Gula Rafinasi sebagai Bahan Baku Pembuatan Energi Terbarukan (Biogas). In *Prosiding Seminar Hasil Penelitian*. pp. 55–60.
- [17] Sunaryo, 2014. Rancang Bangun Reaktor Biogas untuk Pemanfaatan Limbah Kotoran Ternak Sapi di Desa Limbangan Kabupaten Banjarnegara. *PPKM UNSIQ*, pp.21–30.
- [18] Suyitno, Nizam M. dan Dharmanto, 2010. *Teknologi Biogas*. Yogyakarta. Graha Ilmu
- [19] Tesfaye, T., Sithole, B. dan Ntunka, M., 2019. Review on the Manufacturing and Properties of Nonwoven Superabsorbent Core Fabrics used in Disposable Diapers. *International Journal of Chemical Sciences*, 17(June), pp.1–21002E

- [20] Tim Sekretaris Jenderal Dewan Energi Nasional, 2019. *Indonesia Energy Outlook 2019*. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), pp.1689–1699.
- [21] Usman, 2012. Teknik Penetapan Nitrogen Total pada Contoh Tanah secara Destilasi Titrimetri dan Kalorimetri Menggunakan Autoanalyzer. *Buletin Teknik Pertanian*, 17(1), pp.41–44.
- [22] Wahyuni, S. 2008. *Biogas*. PT. Penebar Swadaya : Jakarta
- [23] Widiatningrum, T, Kedati, dan K Susanti, R, 2018. Pemanfaatan Limbah Popok Sebagai Sarana Pendidikan Karakter Peduli Lingkungan Anak Usia Dini. *Phenomenon : Jurnal Pendidikan MIPA*, 8(2), p.16.
- [24] Wulandari, C. dan Labiba, Q., 2017. Pembuatan Biogas dari Campuran Kulit Pisang dan Kotoran Sapi Menggunakan Bioreaktor Anaerobik. *Institut Teknologi Sepuluh November*. Available at: <http://repository.its.ac.id/46279/>.
- [25] Zulfikar, A., 2016. Efektivitas Organik Loading Rate Terhadap Penyisihan Bahan Organik dengan Media Arang Tempurung Kelapa (*Cocos nucifera*) pada Reaktor Anaerobik Kontinyu. Universitas Airlangga.