

### Optimalisasi Limbah Kubis (*Brassica oleracea L*) dan Limbah Cair Tapioka sebagai Bahan Alternatif Biogas Ramah Lingkungan

Faiza A.O. Khunaifi\*, Dwi M. Rochman, dan Zenitho Simanjuntak

Program Studi Teknik Kimia, Universitas Diponegoro

Email Korespondensi : [faiza.khunaifi02@gmail.com](mailto:faiza.khunaifi02@gmail.com)

#### ABSTRAK

Pertumbuhan manusia di Indonesia membuat tingkat konsumsi terhadap energi semakin meningkat. Sumber energi terbarukan salah satunya yaitu biogas dari fermentasi anaerobik dari bahan organik. *Co-digestion* merupakan teknik untuk menghasilkan biogas yang sedang banyak dikembangkan. Sampah kubis merupakan sampah yang paling banyak ditemukan. Pemilihan sayur kubis, selain dapat terdegradasi oleh mikroba, karena memiliki rasio C/N tinggi yaitu sebesar 14,29. Limbah cair dari industri tapioka memiliki kandungan nitrogen 0,46% dan karbon 39,58%, dengan rasio C/N sekitar 86:1. Penelitian ini membutuhkan 3 bahan yaitu berupa sayuran kubis, limbah cair industri tapioka, serta lumpur aktif. Metode penelitian yang digunakan terbagi menjadi 3 tahap yaitu persiapan bahan, tahap operasi, dan tahap analisis. Dalam proses produksi biogas dengan menggunakan kombinasi limbah sayur kubis dan limbah cair industri tapioka, didapatkan bahwa produksi optimal terjadi pada rasio C/N 25 dengan volume biogas kumulatif tertinggi dalam 60 hari sebesar 7435,3 mL. Dari keseluruhan variabel yang dilakukan dalam penelitian ini, didapatkan bahwa *yield* terbanyak dalam produksi biogas adalah sebesar 115,9 liter biogas/kg COD yang dihasilkan pada fase stasioner yaitu variasi C/N 25 dengan mikroba rumen.

#### Kata Kunci:

Biogas, *Co-digestion*, Fermentasi, Limbah Cair Tepung tapioka, Sayur Kubis.

#### ABSTRACT

Human growth in Indonesia makes the level of energy consumption increasing. One of the renewable energy sources is biogas from anaerobic fermentation of organic matter. *Co-digestion* is a technique to produce biogas that is being widely developed. Cabbage waste is the most common garbage found. The selection of cabbage vegetables, besides being able to be degraded by microbes, because it has a high C/N ratio of 14.29. Liquid waste from the tapioca industry has a nitrogen content of 0.46% and carbon 39.58%, with a C/N ratio of about 86:1. This research requires 3 materials, namely cabbage vegetables, tapioca industry liquid waste, and activated sludge. The research method used is divided into 3 stages, namely material preparation, operation stage, and analysis stage. In the biogas production process using a combination of cabbage vegetable waste and tapioca industry liquid waste, it was found that optimal production occurred at a C/N ratio of 25 with the highest cumulative biogas volume in 60 days of 7435.3 mL. Of the overall variables conducted in this study, it was found that the highest yield in biogas production was 115.9 liters of biogas / kg COD produced in the stationary phase, namely variations of C / N 25 with rumen microbes.

#### Keyword:

Biogas, *Co-digestion*, Fermentation, Tapioca Flour Liquid Waste, Cabbage Vegetable.

## 1. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi untuk manusia yang semakin meningkat, sehingga diperlukan jalan keluar dari permasalahan tersebut. Salah satu yang dapat dikembangkan yaitu energi alternatif biogas. Biogas merupakan sumber energi terbarukan yang dihasilkan dari fermentasi anaerobik bahan organik. *Co-digestion* merupakan teknik untuk menghasilkan biogas (Tewelde *et al.*, 2012).

Sampah merupakan permasalahan lingkungan yang sampai saat ini belum dapat diatasi secara tepat dan benar, salah satunya sampah sayur kubis yang mengeluarkan bau yang tidak sedap dan cepat mengalami kebusukan. Oleh karena itu,

sampah sayur kubis dapat diolah sebagai bahan dasar untuk pembuatan biogas. Sampah sayuran kubis ini dipilih selain dapat terdegradasi oleh mikroba, juga karena rasio C/N nya cukup besar yaitu sekitar 14,29 (Jalu, 2017). Rasio C/N merupakan perbandingan kadar C dan N dalam suatu bahan (Wiratmana dkk., 2012), miliki rasio optimal dalam pembuatan biogas sekitar 20:1 hingga 30:1 (Sasse, 1998). Unsur C dan N menjadi komponen utama dalam mncukupi kebutuhan mikroorganisme untuk pertumbuhan dan sebagai pembentukan biogas. Dalam upaya meningkatkan nilai rasio dari C/N di dalam kubis, maka dilakukan pemenuhan nilai karbon dengan menggunakan limbah cair dari industri tapioka. Limbah cair dari industri tapioka memiliki

kandungan bahan organik berlimpah dengan karbon. limbah cair industri tapioka mengandung 0,46% nitrogen dan 39,58% karbon, yang mempunyai rasio perbandingan C dan N sekitar 86:1 (Agustina, 2011). Sumber mikroba dapat diperoleh dari isi rumen sapi yang memiliki kandungan bakteri *Methanosarcina sp* (Fithry, 2010) dan lumpur limbah dari industri tapioka maupun lumpur aktif.

## 2. METODE PENELITIAN

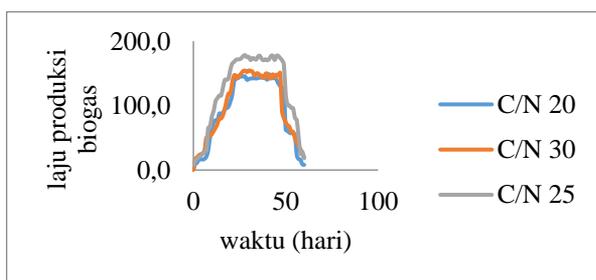
Tahapan penelitian dilakukan melalui lima tahap yaitu tahap pertama, preparasi bahan baku dengan menghaluskan sayur kubis dan dilakukan penyaringan dengan menggunakan saringan 200 mesh, lakukan hal yang sama pada limbah cair tapioka dan lumpur aktif yakni rumen sapi. Tahap kedua, melakukan analisis zat padat dengan menggunakan metode analisis TSS dan VSS. Tahap ketiga, pencampuran dengan variasi C/N 20, 25, dan 30 dengan rasio F/M 0,5 menggunakan mikroba rumen. Dimana sampel dimasukkan ke dalam wadah kedap udara, sehingga proses anaerobic digestion berlangsung. Tahap keempat, gas yang dihasilkan selanjutnya diuji nyala api. Dibuktikan dengan pengujian nyala api pada masing-masing variabel C/N dan hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa benar adanya metana yang dihasilkan pada tahap metanogenesis. Tahap kelima, dilakukan penghitungan volume biogas setiap hari.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan dari penelitian yang dilakukan mengenai pembuatan biogas diperoleh hasil data sebagai berikut:

### 3.1 Laju produksi biogas dalam fungsi waktu pada variasi rasio C/N

Pada penelitian ini, mikroba yang digunakan ialah mikroba rumen dengan perbandingan F/M 0,5 perbandingan C/N yang digunakan adalah 20, 25, dan 30. Didapatkan volume biogas pada fungsi waktu sebagai berikut.



**Gambar 1.** Hubungan kecepatan produksi biogas dalam fungsi waktu pada variasi rasio C/N

C/N dengan FM 0,5 memakai mikroba isi rumen sapi diketahui data mengenai volume biogas sebagai fungsi waktu, dimana terdapat kesamaan kecenderungan antara laju produksi biogas dan pertumbuhan bakteri. Proses pembentukan biogas terjadi melalui tahapan dekomposisi anaerobik oleh bakteri, yang melibatkan empat tahap: hidrolisis, acidogenesis, acetogenesis, dan metanogenesis. Tahap metanogenesis menjadi langkah terakhir di dalam

proses ini, dimana bakteri metanogen menghasilkan CH<sub>4</sub> dan CO<sub>2</sub> dari produk yang dikeluarkan oleh bakteri metanogen, yang dibuktikan dengan pengujian nyala api pada masing-masing variabel C/N dan hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa benar adanya metana yang dihasilkan pada tahap metanogenesis. Asetat terbukti menjadi salah satu produk antara yang digunakan dalam pembentukan metana (Al Saedi *et al.*, 2008).

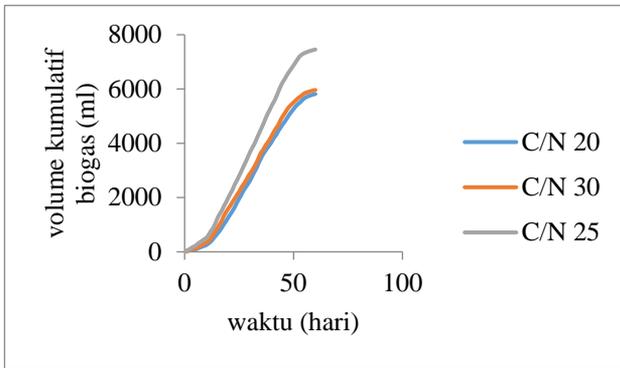
**Tabel 1.** Peningkatan volume biogas dalam fungsi waktu pada rasio C/N 20, 25, dan 30

Fase	Hari	dV Bio gas / dT	Simpan gan	Ha ri	dV Bio gas / dT	Simpan gan	Ha ri	dV Bio gas / dT	Simpan gan
		C/N 20			C/N 30			C/N 25	
Adaptasi	0 - 6	12.7	4.7	0 - 6	20	6.5	0 - 6	19.5	5.4
Pertumbuhan	7 - 23	85.2	23.8	7 - 22	85.9	24.4	7 - 23	117.4	31.7
Stasioner	24 - 48	141.6	3.1	23 - 48	146.3	5.7	24 - 49	173.5	2.4
Kematian	49 - 60	45.8	26.0	49 - 60	51.3	17.1	50 - 60	72.1	28.3

Pada tabel di atas, menunjukkan bahwa setiap fase terjadi pada hari yang berbeda dalam setiap variabel karena banyak faktor yang memengaruhi pertumbuhan bakteri, seperti penggunaan karbon, pH, sintesis protein, sumber energi, degradasi substrat, dan pelepasan produk metabolisme (Baily & Ollis, 1986). Pada fase adaptasi mengalami pertumbuhan lambat karena kondisi lingkungan (Ferguson *et al.*, 2017). Setelah itu, memasuki fase kedua terjadi pertumbuhan produksi biogas. Pada fase pertumbuhan, produksi biogas meningkat cepat hingga mencapai puncak, tergantung pada suhu dan waktu pembelahan sel bakteri, serta jenis bakteri dan nutrisi. Data simpangan pada fase ini paling besar, menunjukkan produksi biogas tertinggi. Namun, ketersediaan nutrisi terbatas karena kurangnya mikronutrisi seperti Co, Ni, dan Mg, mengakibatkan perlambatan pembelahan bakteri (Mancini *et al.*, 2017). Ini mengarah pada fase stasioner, dimana produksi biogas fluktuatif dan stagnan. Berdasarkan data yang diperoleh, simpangan pada fase ini kecil dibandingkan pada fase pertumbuhan dan kematian. Diperoleh volume kumulatif biogas pada fungsi waktu seperti sebagai berikut.

**Tabel 2.** Volume kumulatif biogas pada berbagai rasio C/N dengan mikroba rumen sapi

Hari	Biogas		
	Rasio C/N 20	Rasio C/N 30	Rasio C/N 25
0	0.7	0.3	1.3
7	156.3	210	351
28	2373.7	2605.3	3309.7
48	5045.7	5346	6639
60	5815.7	5965	7454.3



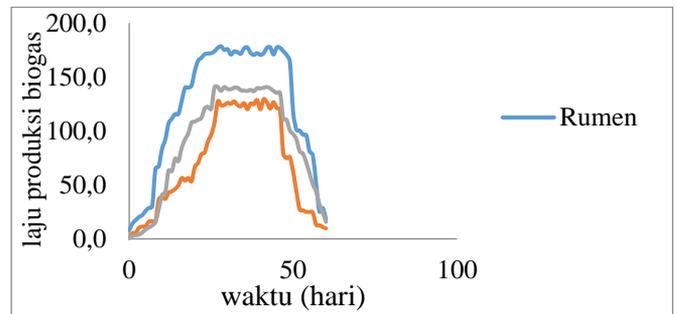
**Gambar 2.** Hubungan pengaruh variasi rasio C/N terhadap volume kumulatif biogas dalam fungsi waktu dekomposisi menggunakan mikroba rumen

Pada Tabel 2, dapat dilihat bahwa volume biogas kumulatif pada kombinasi substrat limbah sayur kubis dan limbah cair tapioka dengan variasi rasio C/N masing-masing adalah 20, 25, serta 30. Pada variasi rasio C/N 20, 25, serta 30 volume total biogas yang dihasilkan secara berurutan adalah 5815,67 mL, 7454,3 mL, dan 5965 mL, maka didapat volume biogas terbanyak yaitu pada digester dengan rasio C/N 25, dimana sesuai dengan hasil riset dari Mijung *et al.* (1981), yang mengatakan bahwa variasi rasio C/N maksimal pada produksi biogas dari kombinasi antara jerami padi yang kaya akan karbon dan limbah lumpur yang kaya akan kandungan nitrogen dengan *anaerobic digestion* adalah 25 dengan waktu operasi selama 10 hari. Variasi rasio C/N tidak mendapatkan hasil yang begitu optimal terhadap volume biogas yang dihasilkan karena rasio optimum variasi rasio C/N antara 20:1 sampai 30:1 (Deublein, 2008).

Hal tersebut dapat dibuktikan pula dengan menggunakan metode ANOVA (*Analysis of Variance*) yang menunjukkan nilai P pada produksi biogas sebesar 0,008469. Apabila dilihat dari nilai P pada pembuatan biogas, didapatkan kesimpulan bahwa rasio C/N memberikan pengaruh yang tidak besar terhadap volume biogas yang dihasilkan. Signifikan tidaknya pengaruh variabel terhadap hasil yang diperoleh dilihat pada nilai P. Jika nilai P <0,05 variabel memberikan pengaruh yang besar terhadap respon, jika nilai P <0,001 variabel tersebut sangat signifikan dan mempengaruhi respon lebih daripada variabel yang lainnya (Cai *et al.*, 2007). Tetapi, jika nilai P >0,05 maka variabel tidak berpengaruh terhadap respon.

### 3.2 Kecepatan produksi biogas dalam fungsi waktu pada variasi jenis mikroba dengan komposisi F/M = 0,5 pada C/N 25

Mengkaji pengaruh dari variasi lumpur aktif yang digunakan pada volume biogas yang dihasilkan, maka dalam penelitian ini menggunakan tiga jenis lumpur. Lumpur aktif yang digunakan berasal dari rumen sapi, lumpur aktif sayur kubis, dan lumpur aktif limbah dari industri tapioka. Analisis dilakukan pada variasi rasio C/N 25 dan F/M = 0,5 yang diinkubasi 60 hari didalam biodigester. Pengaruh variasi lumpur aktif pada volume biogas yang dihasilkan dapat dilihat pada grafik berikut.



**Gambar 3.** Hubungan kecepatan produksi biogas dalam fungsi waktu pada variasi mikroba dengan komposisi FM = 0,5 pada C/N 25

Dari Gambar 3, dapat dilihat bahwa grafik yang dihasilkan hampir sama dengan gambar 1, dimana mikroba mengalami pertumbuhan yang lambat, artinya mikroba mengalami proses adaptasi. Setelah itu, produksi biogas mengalami peningkatan yang fluktuatif, namun sangat signifikan. Hal ini disebabkan adanya *eksponensial growth phase*. Setelah itu, Lumpur aktif dari sayur kubis, lumpur aktif dari rumen sapi, dan lumpur aktif dari limbah tapioka fluktuatif, cenderung konstan dikarenakan adanya *stationary phase*. Kemudian memasuki hari terakhir produksi biogas cenderung mengalami penurunan. Hal ini diperkirakan karena terjadinya *death phase* yang cepat dan tidak dilakukannya pengujian terhadap kandungan mikroba pada masing-masing lumpur aktif di akhir.

**Tabel 3.** Peningkatan volume biogas dalam fungsi waktu pada variasi lumpur aktif dengan rasio C/N 25

Phase	Day	dV Biogas / dT Rumén	Deviation	Day	dV Biogas / dT Cabbag	Deviation	dV Biogas / dT Tapioca	Deviation
Adaptation	0 - 6	19.5	5.4	0 - 8	10.4	3.6	7.1	3.7
Growth	7 - 23	117.4	31.7	9 - 28	67.8	15.6	93.9	22.7
Stationer	24 - 49	173.5	2.4	29 - 46	124.3	10.4	138.4	7.2
Death	50 - 60	72.1	28.3	47 - 60	36.4	21.9	69.2	23.8

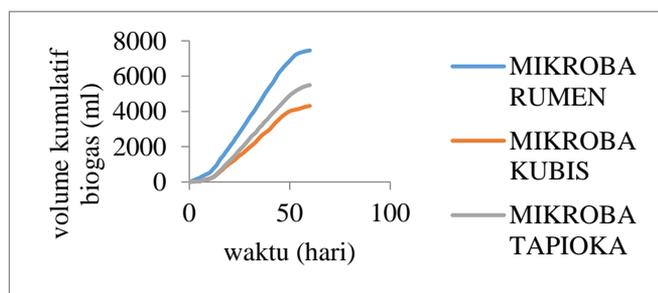
Dari tabel di atas, terlihat variasi fase berbeda pada setiap hari, dan perubahan volume per perubahan waktu paling signifikan pada variabel menggunakan lumpur aktif rumen sebagai mikroba. Penambahan lumpur aktif rumen memiliki dampak positif dibandingkan tanpa penambahan. Kesimpulannya, mikroba paling optimal untuk pembentukan biogas adalah dari mikroba rumen. Mikroorganisme di dalam rumen melibatkan sejumlah kelompok bakteri, termasuk yang memiliki kemampuan mencerna selulosa, hemiselulosa, amilosa, menggunakan asam, mencerna gula, menguraikan protein, menghasilkan amonia, menghasilkan metana, mensintesis vitamin, dan menguraikan lemak. (Martinez *et al.*, 2018). Jenis bakteri ini termasuk metanogenik yang berperan mengubah substrat menjadi biogas, menjadikan

rumen sapi sebagai sumber mikroba paling optimal dalam pembentukan biogas.

Berdasarkan hasil riset yang dilakukan, diperoleh juga volume kumulatif biogas pada fungsi waktu seperti yang tertera dalam tabel 4 sebagai berikut.

**Tabel 4.** Pengaruh komposisi variasi dari lumpur aktif terhadap volume kumulatif pada biogas

Day	Rasio C/N 25 Cow Rumen	Rasio C/N 25 Cabbage Activated Mud	Rasio C/N 25 Tapioca Liquid Waste Activated Sludge
0	1.3	0,7	1
7	351	104,3	98,7
28	3309.7	1764,7	2184,7
48	6639	3869,7	4559,7
60	7454.3	4311,3	5491,7



**Gambar 4.** Pengaruh komposisi variasi dari lumpur aktif terhadap volume kumulatif pada biogas fungsi waktu dengan rasio C/N 25

Variasi mikroorganisme atau lumpur aktif memiliki dampak besar pada produksi biogas (Martinez *et al.*, 2018). Grafik mengindikasikan bahwa variasi jenis lumpur aktif berperan secara signifikan. Hasil analisis ANOVA menguatkan temuan ini. Analisis ANOVA menunjukkan bahwa variasi lumpur aktif secara signifikan memengaruhi volume biogas yang dihasilkan. Nilai P pada produksi biogas adalah  $8,74 \times 10^{-8}$ , menunjukkan pengaruh yang sangat signifikan berdasarkan standar statistik. Nilai P  $<0,05$  menunjukkan pengaruh signifikan, tetapi P  $<0,001$  menunjukkan pengaruh sangat signifikan (Cai *et al.*, 2007). Nilai P  $>0,05$  menandakan ketiadaan pengaruh. Kesimpulannya, variasi lumpur aktif berperan signifikan dalam produksi biogas.

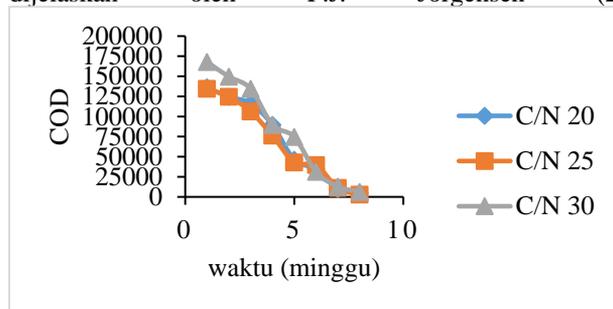
Mikroba yang dimanfaatkan berasal dari lumpur rumen sapi, lumpur aktif dari sayuran kubis, dan lumpur aktif dari limbah industri tapioka. Volume biogas yang dihasilkan adalah sebagai berikut: mikroba rumen menghasilkan 7454,333 mL, mikroba lumpur aktif sayur kubis menghasilkan 4311,333 mL, dan mikroba lumpur aktif limbah tapioka menghasilkan 5491,7 mL. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa mikroba rumen adalah pilihan

paling optimal. Rumen sapi mengandung berbagai kelompok bakteri, seperti selulolitik, hemiselulosa, amilolitik, gula, asam, proteolitik, ammonia, metana, lipolitik, dan sintesis vitamin (Martinez *et al.*, 2018). Bakteri pembentuk metana ini berperan dalam pembentukan biogas. Penggunaan biostarter ini dapat meningkatkan produksi biogas dengan mempercepat dekomposisi bahan organik. Cairan rumen mengandung bakteri selulolitik dan metanogenik sehingga menjadi pilihan biostarter yang baik..

Pembuatan produksi biogas dengan memanfaatkan mikroba lumpur aktif dari sayuran kubis dan limbah cair dari tapioka mendapatkan volume gas metana lebih rendah daripada ketika menggunakan lumpur aktif rumen sapi. Perbedaan ini disebabkan oleh variasi mikroba dalam lumpur aktif tersebut. Meskipun begitu, jumlah metana yang dihasilkan dari kubis jauh lebih rendah dibandingkan dengan penggunaan mikroba dari lumpur aktif rumen sapi.

### 3.3 Laju reduksi cod fungsi waktu terhadap pertumbuhan volume biogas

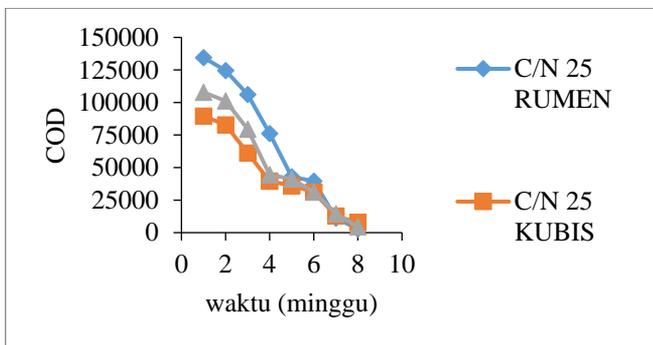
Dalam penelitian ini, konsentrasi COD pada sampel diukur setiap interval 8 hari selama minimal 60 hari menggunakan spektrofotometri, dengan menerapkan metode SNI 06-6989.2-2004. Penentuan nilai COD dilakukan dengan menggunakan agen pengoksidasi, yaitu potassium dichromate, di mana hampir semua komponen organik karbon terdegradasi menjadi  $CO_2$  dan  $H_2O$ . Metode ini melibatkan pengukuran konsumsi oksigen, sebagaimana dijelaskan oleh P.J. Jorgensen (2008).



**Gambar 5.** Hubungan reduksi COD terhadap waktu produksi biogas

Pada gambar 5, terlihat bahwa nilai COD menurun seiring berjalannya waktu selama proses digesti (pembentukan biogas) pada setiap variabel. Penurunan ini terjadi karena COD berfungsi sebagai indikator bahan organik dalam substrat yang menjadi sumber nutrisi bagi mikroba, sebagaimana dijelaskan oleh P.J. Jorgensen (2008). Seiring berjalannya waktu fermentasi, mikroba mengonsumsi lebih banyak bahan organik, yang mengakibatkan penurunan konsentrasi bahan organik dalam substrat yang tercermin dalam nilai COD. Temuan ini sejalan dengan riset yang dilakukan oleh Nining *et al* (2015), yang membahas terurai COD menggunakan limbah cair dari kelapa sawit dalam pembentukan biogas. Penurunan nilai COD ini disebabkan oleh adanya kandungan bahan organik yang cukup tinggi dalam limbah cair, yang berfungsi untuk nutrisi bagi mikroorganisme dalam memproduksi biogas, dan didapatkan nilai COD menurun pada tiap periode waktu tertentu.

Dapat dilihat juga bahwa setiap variasi mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya waktu. variasi yang diuji dalam riset ini mencakup C/N 20, 25, serta 30, dan juga melibatkan mikroba rumen, mikroba dalam lumpur aktif dari limbah sayuran kubis, dan mikroba dalam lumpur aktif dari limbah cair industri tapioka dengan variasi rasio C/N 25. Pada perbandingan variasi C/N, variasi C/N 20 mengalami penurunan nilai COD dari 136166,7 mg/L (t = 0 hari) menjadi 4500 mg/L pada hari ke 56, dengan penurunan total COD sebesar 96,7%. Variasi C/N 25 menunjukkan penurunan nilai COD dari 134500 mg/L (t = 0 hari) menjadi 2833,33 mg/L pada hari ke 56, dengan penurunan total COD sebesar 97,9%, sedangkan variasi C/N 30 menunjukkan penurunan nilai COD dari 167833 mg/L (t = 0 hari) menjadi 6166,67 mg/L pada hari ke 56, dengan penurunan total COD sebesar 96,3%. Dari total persentase penurunan COD tersebut, dapat disimpulkan bahwa variasi C/N 25 memiliki penurunan nilai yang paling besar di antara variasi C/N lainnya.



**Gambar 6.** Hubungan penurunan COD terhadap fungsi waktu produksi pembuatan biogas pada C/N 25 dengan variasi mikroba

Dalam variasi lumpur aktif dengan rasio perbandingan C/N 25, terlihat bahwa lumpur aktif sayur kubis mengalami depresiasi nilai COD dari 89500 mg/L (t = 0 hari) menjadi 7833,33 mg/L pada hari ke 56, dengan depresiasi COD sebesar 91,2%, sementara lumpur aktif limbah cair dari industri tapioka mengalami depresiasi nilai COD dari 107833,3 mg/L (t = 0 hari) menjadi 4500 mg/L pada hari ke 56, dengan depresiasi COD sebesar 95,8%. Lumpur aktif rumen sapi mengalami penurunan COD terbesar karena memiliki lebih banyak bakteri metagenik dibandingkan dengan lumpur aktif kubis dan limbah cair tapioka. Bakteri anaerobik yang berperan dalam mengubah bahan organik menjadi gas metana memainkan peran kunci dalam pembentukan biogas, seperti yang dijelaskan oleh Gerardi (2003).

Proses digesti anaerobik mendegradasi polisakarida dalam limbah kubis dan juga limbah cair dari tapioka menjadi biogas, ditandai dengan adanya penurunan kadar COD. Semakin besar depresiasi COD, semakin banyak volume biogas yang diperoleh secara teori. Penurunan COD mengindikasikan penurunan bahan organik yang diubah menjadi metana dan biogas (Garciapeña *et al.*, 2010). Ini juga menunjukkan konsumsi asam untuk produksi metana. Proses digesti anaerobik efektif menurunkan kadar COD bahan isian, mengurangi beban polusi dari limbah kubis dan limbah

tapioka dengan bantuan lumpur aktif rumen sapi. Selama periode produksi biogas, penurunan kadar COD menandakan efektivitas proses degradasi bahan organik kompleks menjadi gas metana dan biogas. Teori lain oleh Trisno Saputra dan lainnya menyatakan bahwa peningkatan volume biogas berkaitan dengan penurunan kadar COD.

**Tabel 5.** Produksi volume biogas yang dihasilkan terhadap penurunan kadar COD pada fungsi waktu tertentu

Phase	$\frac{dv}{dcod}$ (L/kg)				
	C/N 20	C/N 25	C/N 30	Cabbage	Tapioca
Adaptation	3.6	5.7	4.1	3.7	1.2
Growth	51.1	49.5	37.8	33.9	31.8
Stationary	85.9	115.9	74.4	65.4	52.4
Dead	59.4	106.2	69.3	40.0	46.3

Dari data yang tercantum dalam Tabel 5, didapatkan bahwa yield substrat terhadap produk biogas terbanyak dalam riset ini mencapai 73,2 L biogas/Kg COD pada tahap stasioner. Yield substrat terhadap produk biogas tertinggi terjadi pada rasio C/N 25 dengan menggunakan mikroba rumen. Proses co-digestion menunjukkan keseimbangan nutrisi yang lebih baik dan kinerja digester yang lebih efisien, sehingga kemampuannya dalam menghasilkan biogas lebih tinggi, sesuai dengan temuan Wu (2007). Kombinasi limbah cair industri tapioka dan limbah cair industri dalam co-digestion juga menyebabkan peningkatan yield substrat terhadap produk biogas.

#### 4. KESIMPULAN

Dalam proses produksi biogas dengan menggunakan kombinasi limbah sayur kubis dan limbah cair industri tapioka, didapatkan bahwa produksi optimal terjadi pada rasio C/N 25 dengan volume biogas kumulatif tertinggi dalam 60 hari sebesar 7435,3 mL. Sesuai dengan temuan dari Hills dan Roberts (1981) yang menyatakan bahwa rasio C/N optimal untuk menghasilkan biogas dari kotoran dan jerami padi melalui pencernaan anaerobik adalah 25, hasil variasi lumpur aktif pada penelitian ini menunjukkan bahwa produksi biogas paling optimal terjadi pada lumpur aktif rumen. Lumpur aktif rumen menghasilkan volume biogas kumulatif tertinggi dalam periode 60 hari dibandingkan dengan lumpur aktif sayuran kubis dan lumpur aktif limbah cair tapioka. Hal ini disebabkan oleh keberadaan mikroba yang lebih cocok dalam proses produksi biogas di lumpur aktif rumen dibandingkan dengan lumpur aktif sayuran kubis dan limbah cair tapioka. Oleh karena itu, lumpur aktif rumen mampu mengubah selulosa menjadi gula sederhana dan selanjutnya mengkonversinya menjadi biogas. Tidak efektifnya lumpur aktif sayur kubis dan limbah cair tapioka menyebabkan masa produksi biogas berlangsung singkat sehingga fase kematian berlangsung lebih awal. Dari keseluruhan variabel yang dilakukan dalam penelitian ini, didapatkan bahwa yield terbanyak dalam produksi biogas adalah sebesar 115,9 Liter biogas/Kg COD yang dihasilkan

pada fase stasionernya variasi C/N 25 dengan mikroba rumen.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Karya ini tidak akan terwujud tanpa dukungan dan kontribusi berbagai pihak yang kami hargai. Kami ingin mengucapkan terima kasih kepada dosen pembimbing kami, Terima kasih atas bimbingan, saran, dan dedikasi dalam membimbing kami selama proses penelitian ini serta keluarga dan teman-teman atas dukungan moral dan semangat yang selalu diberikan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Agustina. (2011). Evaluasi Parameter Produksi Biogas Dari Limbah Cair Industri Tapioka Dalam Bioreaktor Anaerobik 2 Tahap. Semarang : Teknik Kimia, Universitas Diponegoro.
- Fithry, Y. (2010). Pengaruh Penambahan Cairan Rumen Sapi pada Pembentukan Biogas dari Sampah Buah Mangga dan Semangka. Tesis, Program Pasca Sarjana, Universitas Gajah Mada: Yogyakarta.
- Garciapeña et al., (2010). Biogas Production and Cleanup by Biofiltration for a Potential Use as an Alternative Energy Source. IPN, Mexico City, Mexico .
- Hills D.J., Roberts D.W., (1981). Anaerobic digestion of dairy manure and field crop residues. *Agricultural Wastes* 1981;3(3):179e89.
- Mancini, G., Papirio, S., Riccardelli, G., Lens, Piet N.L., dan Esposito, G., (2017). Trace elements dosing and alkaline pretreatment in the anaerobic digestion of rice straw. *Bioresource Technology*. 247 : 897 – 903.
- National Nutrient Database for Standard Reference Cabbage (USDA Nutrient Database). <http://ndb.nal.usda.gov> (diakses pada tanggal 31 Oktober 2017).
- Tewelde, S., Eyalarasan, K., Radhamani, R., Karthikeyan, K. (2012). Biogas Production from Co-digestion of Brewery Wastes [BW] and Cattle Dung [CD]. *International Journal of Latest Trends in Agriculture & Food Sciences*.