

## **Analisis Produksi Biogas Terhadap Penambahan Kulit Singkong pada Variasi Campuran Limbah Cair Domestik dan Aquadest**

### ***Biogas Production Analysis on the Addition of Cassava Peels in the Variation of Domestic Liquid Waste Mixtures and Aquadest***

Eva Malini Simare mare\*, Maya Sarah, Amir Husin

Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara, Jl. Almamater Kampus USU, Medan, 20155, Indonesia

\*Email: [evamalini101278@gmail.com](mailto:evamalini101278@gmail.com)

#### **Abstrak**

Limbah domestik dan limbah hasil pertanian pangan berupa kulit singkong berpotensi sebagai sumber bahan baku untuk pembuatan biogas. Penelitian ini menggunakan limbah domestik dari Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Cemara Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Tirtanadi Provinsi Sumatera Utara. Perbandingan inokulum limbah domestik dari IPAL Cemara PDAM Tirtanadi dan air dalam penelitian ini adalah 100:0, 70:30, 60:40, dan 50:50 (v/v). Masing – masing variasi perbandingan tersebut ditambahkan kulit singkong yang telah dihaluskan sebanyak 3 kg kulit singkong. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui jumlah biogas yang dihasilkan melalui pengukuran tekanan pada pipa yang dihubungkan dengan bioreaktor. Proses pembuatan biogas ini menggunakan fermentasi anaerobik dengan sistem *batch*. Parameter yang diuji dari penelitian ini adalah pengukuran nilai *Total Suspended Solid* (TSS), *Volatile Solid* (VS), pH, dan jumlah *Chemical Oxygen Demand* (COD). Dari hasil penelitian yang dilakukan, diperoleh bahwa variasi pada perbandingan 100:0 ditemukan biogas pada tekanan 205,8 Pa dengan nilai TSS sebesar 1348 mg/L, nilai VS sebesar 410 mg/L, nilai pH sebesar 7,66 dan nilai COD sebesar 1088 mg/L.

**Kata kunci** : limbah cair domestik, kulit singkong, biogas

#### **Abstract**

Domestic waste and agricultural food waste in the form of cassava peels have the potential as a source of raw material for making biogas. This research uses domestic waste from Wastewater Treatment Plant (WWTP) Cemara of Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Tirtanadi, Sumatera Utara Province. The ratio of domestic waste inoculum from WWTP Cemara PDAM Tirtanadi and water in this study was 100:0, 70:30, 60:40, and 50:50 (v/v). Then, for each variation of the ratio, 3 kg of ground cassava peel was added. This study aims to determine the amount of biogas produced by measuring the pressure in a pipe connected to a bioreactor. The process of making biogas uses anaerobic fermentation with a batch system. The parameter tested in this study is the measurement of the *Total Suspended Solid* (TSS) value, *Volatile Solid* (VS) value, pH value, and total *Chemical Oxygen Demand* (COD) value. From the results of the research conducted, it was found that the variation in the ratio of 100:0 found biogas at a pressure of 205.8 Pa with TSS value of 1348 mg/L, VS value of 410 mg/L, pH value of 7.66 and COD value of 1088 mg/L.

**Keywords**: domestic liquid waste, cassava peels, biogas

#### **Pendahuluan**

Pemanfaatan limbah sebagai sumber energi dapat mengurangi permasalahan di bidang lingkungan. Energi merupakan kebutuhan yang sangat penting bagi kehidupan manusia. Sumber energi berupa batubara, *petroleum oil*, dan gas alam adalah sumber energi terbesar yang banyak digunakan [1]. Konsumsi energi dunia diharapkan tumbuh 75% pada tahun 2020. Pertumbuhan

pemakaian energi tertinggi diprediksi terjadi di Asia Tenggara dan Asia Timur [2]. Berdasarkan kebutuhan energi tersebut, maka laju produksi energi seharusnya dapat terus ditingkatkan.

Energi dari sumber bahan bakar fosil, merupakan sumber energi yang tidak akan bertahan lama, karena diperkirakan akan habis dan tidak dapat diperbaharui. Pemakaian energi fosil dapat menyebabkan persoalan lingkungan, karena dapat

menimbulkan polutan yang berbahaya seperti *Volatile Organic Compounds* (VOCs), NO<sub>x</sub>, CO, SO<sub>x</sub>, *partikulat matter*, dan gas rumah kaca seperti karbondioksida, dan gas metan [3].

Energi yang berasal dari biomassa merupakan sumber energi yang dapat dipergunakan secara berkelanjutan. Kulit singkong merupakan biomassa yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi. Pencampuran kulit singkong dan limbah dari Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Cemara Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Tirtanadi berpotensi dapat menghasilkan biogas melalui proses fermentasi anaerobik dengan sistem *batch*. Pada penelitian ini akan dilakukan penentuan jumlah produksi biogas dari limbah kulit singkong yang ditambahkan kedalam limbah domestik dari IPAL Cemara PDAM Tirtanadi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui jumlah biogas yang dihasilkan dari bioreaktor sistem *batch* dan pengaruhnya terhadap nilai *Total Suspended Solid* (TSS), *Volatile Solid* (VS), *Potential Hydrogen* (pH), dan jumlah *Chemical Oxygen Demand* (COD).

## Teori

Biogas adalah gas yang dihasilkan oleh aktivitas mikroba pada proses anaerobik (tanpa menggunakan udara). Biogas terbentuk ketika mikroorganisme, khususnya bakteri, menurunkan kadar zat organik pada kondisi anaerob. Degradasi anaerobik adalah proses penguraian substrat organik secara biologis dengan ketiadaan oksigen [4]. Biogas yang dihasilkan dari penelitian ini berasal dari proses anaerobik. Anaerobik adalah proses biologi yang secara alami dapat terjadi melalui penguraian bahan organik dan berlangsung tanpa adanya oksigen [5]. Selama proses *Anaerobic Digestion* (AD), mikroorganisme memecah bahan organik dan mengubahnya menjadi campuran biogas, terutama metana dan gas karbondioksida, yang dapat digunakan untuk listrik serta *biofuel* [6].

Biogas memiliki ciri-ciri sekitar 20 % lebih ringan dibandingkan udara dan memiliki temperatur nyala antara 650 °C sampai 750 °C. Biogas merupakan gas yang tidak berbau dan tidak berwarna yang terbakar dengan api biru yang serupa dengan *Liquefied Petroleum Gas* (LPG). Produksi biogas dan pemanfaatan biogas dari sistem *anaerobik digestion* memberikan keuntungan dari aspek lingkungan dan sosial ekonomi secara keseluruhan, termasuk para petani [7].

Untuk menghasilkan biogas dari bahan yang dapat terurai secara anaerobik, dekomposisi limbah organik melewati 4 tahap proses secara simultan yaitu hidrolisis, *acidogenesis*, *acetogenesis*, dan *methanogenesis*. Untuk menghasilkan biogas, bahan di proses pada sistem *anaerobik digestion*. Sebelum masuk ke dalam proses *anaerobik digestion*, dilakukan proses dekomposisi fisik terhadap bahan. Dekomposisi fisik merupakan penguraian bahan menjadi potongan yang lebih kecil [8]. Potongan

yang kecil ini dimaksudkan untuk memudahkan bahan substrat terurai secara biologis oleh mikroorganisme.

## Metodologi Penelitian

### Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan adalah inokulum dari limbah domestik Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Cemara Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Tirtanadi sebagai *stater* kemudian ditambahkan *aquadest* dengan perbandingan 100:0, 70:30, 60:40, dan 50:50 (v/v) serta memasukkan kulit singkong sebanyak 3 kg. Alat utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah bioreaktor yang terbuat dari bahan plastik kapasitas 50 L. Bioreaktor ini dihubungkan dengan pipa untuk mengalirkan gas.

### Perlakuan Awal

Kulit singkong diperoleh dari pengusaha keripik singkong di sekitar jalan Setia Budi Medan. Kulit singkong kemudian dipisahkan dari kulit ari, lalu dicuci bersih menggunakan *aquadest*. Kulit singkong yang sudah bersih di cacah menggunakan pisau, kemudian dihaluskan menggunakan blender. Pada saat kulit singkong di blender, tidak ditambahkan air pada bioreaktor untuk perbandingan 100:0, dan pada variasi perbandingan yang lain, kulit singkong yang di blender ditambahkan air berdasarkan jumlah variasinya.

### Proses Pembuatan Biogas

Limbah domestik Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Cemara Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Tirtanadi dimasukkan kedalam tangki digester volume 50 L dengan variasi komposisi dengan *aquadest* adalah 100:0, 70:30, 60:40, dan 50:50 (v/v). Kemudian ditambahkan 3 kg kulit singkong yang telah di blender. Pada tangki dihubungkan pipa yang akan menekan kenaikan air pada pipa yang berbentuk U. Adanya tekanan pada pipa U menunjukkan adanya gas yang dihasilkan dari proses fermentasi, kemudian dilakukan uji nyala untuk membuktikan bahwa proses di dalam bioreaktor menghasilkan biogas. Pengukuran dilakukan setiap 2 (dua) hari sekali. Lamanya proses fermentasi adalah 23 (dua puluh tiga) hari. Parameter yang diukur pada penelitian ini adalah nilai *Total Suspended Solid*, *Volatile Solid*, pH, dan Jumlah *Chemical Oxygen Demand*.

### Penentuan Parameter *Total Suspended Solid* (TSS)

Penentuan parameter TSS dilakukan dengan kertas saring, dimana kertas saring dibasahi dengan sedikit *aquadest*. Sampel yang akan diuji diaduk hingga diperoleh campuran yang homogen, lalu dimasukkan ke dalam media penyaring. Kemudian sistem vakum dinyalakan. Media penyaring di bilas sebanyak 3 (tiga) kali dengan masing – masing 10 mL air bebas mineral, lanjutkan penyaringan dengan

sistem vakum hingga tiris. Media penyaring dipindahkan (glass fiber filter) secara hati – hati dari peralatan penyaring ke media penimbang (cawan petri). Media penimbang dikeringkan yang berisi media penyaring dalam oven minimal selama 1 jam pada kisaran suhu 103 °C sampai dengan 105 °C, lalu didinginkan dalam desikator dan ditimbang. TSS dihitung berdasarkan persamaan 1.

$$TSS \left( \frac{mg}{L} \right) = \frac{(W_1 - W_0)}{V} \times 1000 \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:

- W<sub>0</sub> : berat media penimbang yang berisi media penyaring awal (mg)
- W<sub>1</sub> : berat media penimbang yang berisi media penyaring dan residu kering (mg)
- V : volume contoh uji (mL)

**Penentuan parameter Volatile Solid (VS)**

Persiapan pengujian parameter VS dilakukan terlebih dahulu sesuai dengan SNI 06-2413-2002 [9]. Pengujian parameter VS dilakukan dengan mengambil sampel homogen sebanyak 50 mL-100 mL dengan menggunakan pipet dan dimasukkan kedalam alat penyaring yang telah dilengkapi dengan alat pompa penghisap dan kertas saring. Setelah sampel tersaring semuanya, kertas saring dibilas dengan air suling sebanyak 10 mL dan dilakukan 3 kali pembilasan. Penghisapan dilanjutkan kembali selama kira-kira 3 menit setelah penyaringan sempurna. Seluruh hasil saringan termasuk air bilasan dimasukkan ke dalam cawan sehingga kering pada penangas air. Cawan yang berisi padatan terlarut yang sudah kering dimasukkan ke dalam oven pada suhu 180 °C selama tidak kurang dari 1 jam. Cawan dipindahkan dengan menggunakan penjepit dan didinginkan di dalam desikator. Setelah dingin, ditimbang dengan neraca analitik dan lakukan hingga berat konstan. Cawan yang berisi padatan terlarut yang sudah ditimbang di dalam tanur pada suhu 550 °C selama 15 menit sampai 20 menit. Cawan dikeluarkan dari tanur menggunakan penjepit dan biarkan pada suhu kamar, lalu didinginkan di dalam desikator dan segera ditimbang dengan neraca analitik. Diulangi langkah tersebut hingga mencapai berat konstan. Perhitungan VS dilakukan berdasarkan persamaan 2, persamaan 3 dan persamaan 4.

Kadar padatan terlarut total (mg/L) =  $\frac{(B - A_1) \times 10^6}{mL \text{ contoh}} \dots\dots\dots(2)$

Kadar padatan terlarut total yang terikat (mg/L) =  $\frac{(C - A_2) \times 10^6}{mL \text{ contoh}} \dots\dots\dots(3)$

Kadar padatan terlarut total yang menguap (mg/L) = Kadar padatan terlarut total (mg/L) - Kadar

padatan terlarut total yang terikat (mg/L).....(4)

Keterangan:

- A1: berat tetap (g) cawan kosong setelah pemanasan 180 °C
- A2: berat tetap (g) cawan kosong setelah pembakaran 550 °C
- B: berat tetap (g) cawan berisi padatan terlarut total setelah pemanasan 180 °C
- C: berat tetap (g) cawan berisi padatan terlarut total setelah pembakaran 550 °C

**Penentuan pH**

Elektroda yang digunakan dibilas dengan *aquadest*, selanjutnya dikeringkan dengan menggunakan kertas tisu halus. Elektroda yang sudah dibersihkan dicelupkan ke dalam sampel sampai alat pH meter menunjukkan pembacaan angka yang stabil, lalu hasil pembacaan angka pada tampilan pH meter dicatat.

**Penentuan Jumlah Chemical Oxygen Demand (COD)**

Sejumlah volume contoh uji atau larutan kerja dipipet dan ditambahkan *digestion solution*, larutan pereaksi asam sulfat ke dalam tabung, lalu tabung ditutup dan dikocok perlahan sampai homogen. Tabung diletakkan pada pemanas yang telah dipanaskan pada suhu 150 °C ± 2 °C, lalu dilakukan refluks selama 2 jam. Dinginkan contoh uji dan larutan kerja yang sudah direfluks sampai suhu ruang lalu dibiarkan suspensi mengendap. Kemudian diukur serapan contoh uji pada panjang gelombang yang telah ditentukan (600 nm). COD dihitung berdasarkan persamaan linier kurva kalibrasi dan kadar COD menggunakan persamaan 5.

Kadar COD = C × f.....(5)

Keterangan:

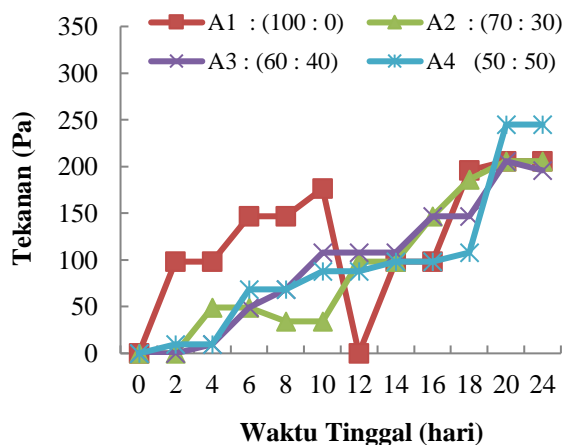
- C : nilai COD contoh uji (mg/L)
- F : faktor pengenceran

**Hasil Penelitian Hasil Produksi Biogas**

Pada penelitian ini proses pembuatan biogas menggunakan proses anaerobik sistem *batch*. Penguraian anaerobik adalah proses penguraian substrat organik secara biologi tanpa menggunakan oksigen [4]. Pada penelitian ini, adanya biogas ditunjukkan melalui pengukuran tekanan yang ditunjukkan oleh pipa U dan pelaksanaan uji nyala.

Perbedaan tinggi pada pipa U dicatat setiap 2 (dua) hari sekali. Grafik tekanan pada pipa U yang dihubungkan dengan bioreaktor disajikan pada Gambar 1. Secara umum tekanan gas yang dihasilkan pada perbandingan semua bioreaktor mengalami kenaikan tekanan. Hal ini menunjukkan bahwa gas yang dihasilkan dapat menekan air yang terisi pada pipa berbentuk U. Pada bioreaktor A1, tekanan pipa

U pada hari ke 12 mengalami penurunan drastis. Hal ini disebabkan karena aktivitas mikroba terhenti dan tidak menghasilkan gas sama sekali. Namun pada hari ke-18 sampai dengan hari ke-22, tinggi pada pipa U kembali mengalami sedikit kenaikan dan berhenti sampai hari ke-22. Tekanan yang dihasilkan menandakan adanya aktivitas mikroba untuk menghasilkan gas. Pada bioreaktor A1 ini, limbah dari Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Tirtanadi hanya ditambahkan kulit singkong, tanpa penambahan *aquadest*. Air yang digunakan dapat memudahkan proses produksi biogas berasal dari lumpur IPAL itu sendiri



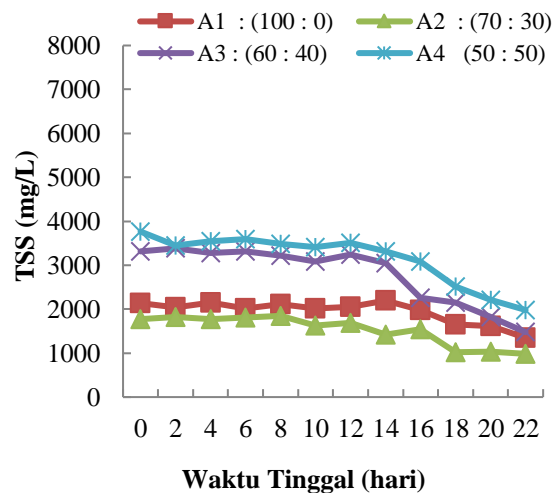
Gambar 1. Grafik produksi tekanan terhadap waktu fermentasi

Produksi biogas paling banyak dihasilkan berdasarkan tekanan yaitu pada bioreaktor A4. Hal ini menandakan bahwa mikroba memiliki aktivitas yang baik untuk menghasilkan gas. Pengamatan pada bioreaktor A4, perbedaan tinggi pipa U terjadi pada hari ke-2. Selanjutnya pada hari ke-6, perbedaan tinggi pipa U mengalami kenaikan menjadi 1,5 cm. Pada hari ke-20, perbedaan tinggi pada pipa U mengalami sedikit kenaikan menjadi 2,1 cm. Adanya kenaikan tekanan pada semua pengamatan bioreaktor ini belum tentu mengindikasikan adanya biogas. Adanya biogas dilakukan melalui uji nyala pada selang pipa yang terhubung pada umpan keluar bioreaktor.

Pengujian terhadap nyala api yang dilakukan pada setiap bioreaktor menunjukan nyala api terlihat pada bioreaktor A1. Hal ini menandakan gas yang dihasilkan pada 113bioreaktor A1 lebih banyak dari 113bioreaktor lainnya. Pada 113bioreaktor ini, ditemukan adanya pembakaran saat dilakukan uji nyala. Adanya biogas ditandai dengan pembakaran pada biogas dan ini menunjukkan bahwa biogas mengandung banyak gas metan yang mudah terbakar [10].

### Perbandingan Nilai TSS

Perolehan nilai *Total Suspended Solid* (TSS) terhadap waktu fermentasi masing-masing bioreaktor disajikan pada Gambar 2.



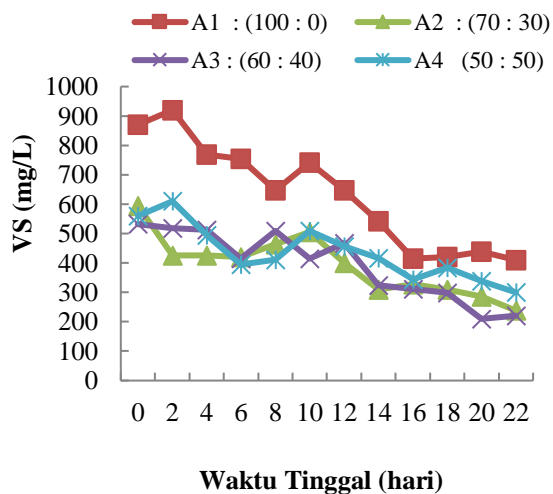
Gambar 2. Perolehan nilai TSS terhadap waktu fermentasi

Secara umum nilai TSS dari semua perbandingan mengalami penurunan. Rata-rata penurunan nilai TSS pada perbandingan 70:30 (v/v) memiliki nilai lebih rendah dibandingkan dengan yang lain. Sedangkan pada penurunan nilai TSS untuk perbandingan 100:0 (v/v), rata-rata penurunan TSS nya lebih rendah dibandingkan dengan variasi perbandingan 60:40 dan 50:50 (v/v). Nilai TSS dapat memberikan informasi tingkat kekeruhan pada substrat. Penurunan nilai TSS disebabkan karena limbah telah terdegradasi oleh mikroba. Tingkat kekeruhan pada limbah dipengaruhi oleh aktivitas mikroba yang berada pada bioreaktor. Kulit singkong yang dimasukkan pada bioreaktor merupakan sumber makanan bagi mikroba. Dengan menurunnya nilai TSS menandakan bahwa mikroba dapat mendegradasi kandungan organik yang ada pada substrat.

### Perbandingan Nilai VS

Nilai VS merupakan bagian padatan TS yang akan berubah menjadi fase gas pada tahapan asidifikasi dan *methanogenesis* pada proses fermentasi di dalam bioreaktor. Hasil pengamatan terhadap parameter VS dapat dilihat pada Gambar 3.

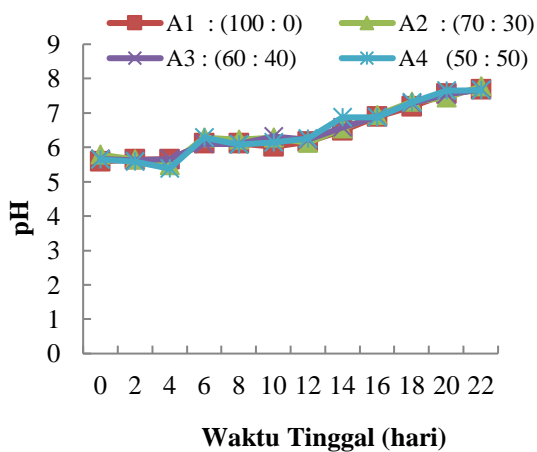
Bila dilihat dari *trend* grafik pada Gambar 3, secara umum nilai VS mengalami penurunan. Nilai VS dapat menentukan adanya potensi terbentuknya biogas. Penurunan nilai VS pada grafik di atas, mengindikasikan bahwa biogas yang terbentuk sangat sedikit. Hal ini disebabkan mikroba yang ada pada bioreaktor tidak dapat bereaksi sampai pada tahap proses pembentukan asidifikasi dan metanogenesis yang menghasilkan biogas



Gambar 3. Perolehan nilai VS terhadap waktu fermentasi

**Perbandingan Nilai pH**

Perolehan nilai pH terhadap waktu fermentasi masing-masing bioreaktor disajikan pada Gambar 4 berikut.



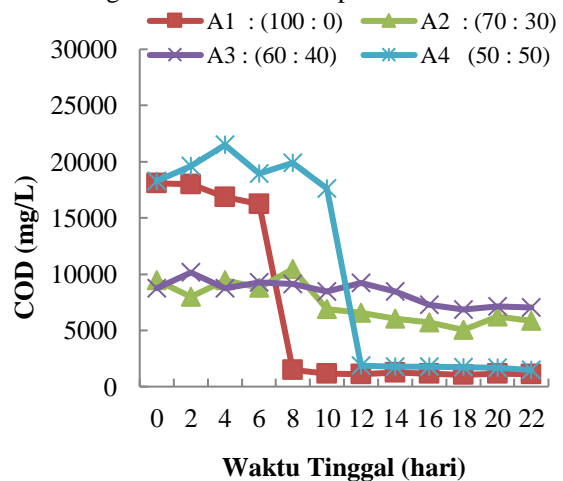
Gambar 4. Perolehan nilai pH terhadap waktu fermentasi

Di awal fermentasi, pH mengalami penurunan. Hal ini disebabkan oleh tahap penyesuaian oleh mikroba dengan kondisi yang baru. Berikutnya pH mengalami kenaikan. Terlihat pada bioreaktor A1 tanpa media silika gel memiliki nilai dari 5,44 pada hari ke nol dan 7,56 pada hari ke-22. Nilai pH ini cenderung mengalami kenaikan. Kenaikan nilai pH dikarenakan mikroba yang ada di dalam bioreaktor dapat menguraikan substrat yang berisi kulit singkong. Dalam keadaan awal, mikroba berada dalam suasana asam. Pada saat mikroba telah mengubah rantai kompleks pada substrat menjadi molekul yang lebih kecil, selanjutnya mikroba mengurai substrat menjadi asetat dan karbondioksida serta menjadi asam lemak yang mudah menguap. Demikian juga dengan nilai pH pada bioreaktor tanpa media silika gel. Nilai pH yang diukur mengalami

kenaikan. Kenaikan nilai pH merupakan indikator aktivitas mikroba yang dapat tumbuh dan berkembang sehingga kandungan substrat yang ada pada bioreaktor dapat didegradasi oleh mikroba.

**Perbandingan nilai Jumlah COD**

Berdasarkan gambar 5, bioreaktor A1, A2, A3 dan A4, nilai COD secara kontiniu mengalami penurunan. Pada bioreaktor A1, persentasi penyisihan nilai COD sebesar 91,8 % pada hari ke-8, sedangkan untuk bioreaktor A2, penyisihan COD sebesar 26,91% pada hari ke-10. Untuk bioreaktor A3 dan A4, masing – masing penyisihan COD nya sebesar 16,47 % pada hari ke 16 dan sebesar 89,82% pada hari ke-12. Untuk penurunan nilai COD ini didasarkan pada aktivitas mikroba yang ditahap awal memerlukan waktu untuk menyesuaikan diri terhadap lingkungan yang baru. Mikroba kemudian akan tumbuh secara eksponensial. Perilaku pertumbuhan mikroba ini juga dipengaruhi oleh kondisi substrat yang ada di dalamnya. Mikroba membutuhkan waktu bagi sel-selnya untuk menyesuaikan diri di lingkungan mereka yang baru. Jika substrat merupakan sumber makanan bagi mikroba, maka mikroba akan berkembang biak berdasarkan kondisi dan komposisi makanan, dan akan menghasilkan materi berupa limbah.



Gambar 5. Perolehan nilai COD terhadap waktu fermentasi

**Kesimpulan**

Pada penelitian ini kulit singkong dapat digunakan sebagai substrat untuk perolehan biogas yang dicampurkan dengan limbah Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Tirtanadi. Produksi biogas di pengaruhi oleh limbah yang digunakan mengandung mikroba dan kulit singkong merupakan sumber makanan bagi mikroba. Berdasarkan analisa parameter penelitian ditunjukan nilai *Total Suspended Solid*, *Volatile Solid* dan jumlah *Chemical Oxygen Demand* mengalami penurunan dan nilai pH mengalami kenaikan terhadap waktu fermentasi pada setiap bioreaktor. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh adanya gas metan hasil produksi pada

bioreaktor yang ditandai dengan nyala api pada bioreaktor A1. Hasil penelitian ini diharapkan mampu memberikan alternatif pilihan kulit singkong sebagai perolehan energi dari sumber yang mudah diperoleh sehingga proses produksi biogas dapat berlangsung secara terus menerus.

#### Daftar Pustaka

- [1] N. Sumprasit, N. Wagle, N. Glanpracha, and A. P. Annachhatre, "Biodiesel and biogas recovery from *Spirulina platensis*," *Int. Biodeterior. Biodegrad.*, vol. 119, pp. 196–204, 2017.
- [2] D. T. Allen and D. R. Shonnard, *Green Engineering: Environmentally Conscious Design of Chemical Processes*. Michigan: Prentice Hall PTR, 2007.
- [3] A. Vita, L. Pino, F. Cipitì, M. Laganà, and V. Recupero, "Biogas as renewable raw material for syngas production by tri-reforming process over NiCeO<sub>2</sub> catalysts: Optimal operative condition and effect of nickel content," *Fuel Process. Technol.*, vol. 127, pp. 47–58, 2014.
- [4] Q. Zhang, J. Hu, and D. J. Lee, "Biogas from anaerobic digestion processes: Research updates," *Renew. Energy*, vol. 98, pp. 108–119, 2016.
- [5] B. Salam, S. Biswas, and M. S. Rabbi, "Biogas from mesophilic anaerobic digestion of cow dung using silica gel as catalyst," *Procedia Eng.*, vol. 105, pp. 652–657, 2015.
- [6] Anonim, IEA Bioenergy Annual Report 2015, IEA Bioenergy, Paris, 2015.
- [7] T. Al Seadi, D. Rutz, H. Prassl, M. Köttner, T. Finsterwalder, S. Volk and R. Janssen, *Biogas handbook*, Esbjerg: University of Southern Denmark Esbjerg, 2008.
- [8] K. Hagos, J. Zong, D. Li, C. Liu, and X. Lu, "Anaerobic co-digestion process for biogas production: Progress, challenges and perspectives," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 76, pp. 1485–1496, 2017.
- [9] Anonim, "Metode pengujian kadar padatan dalam air," SNI 06-2413-2002, 2002.
- [10] H. Wang, C. Ma, Z. Yang, X. Lu, and X. Ji, "Improving high-pressure water scrubbing through process integration and solvent selection for biogas upgrading," *Appl. Energy*, vol. 276, p. 115462, 2020.