

Penyerapan Kandungan CO₂ Biogas Dari Digester Tipe *Fix Dome* Dan Digester Tipe Plastik Secara Kontinyu Dengan Mikroalga (*Chlorella sp.*).

Ulwan Zuhdi, Bambang Dwi Argo, Musthofa Lutfi, dan M. Bagus Hermanto

Jurusan Keteknik Pertanian - Fakultas Teknologi Pertanian - Universitas Brawijaya
Jl. Veteran, Malang 65145
Email : xx

ABSTRAK

Pemanfaatan biogas sebagai energi alternatif sudah cukup efektif di kalangan masyarakat, namun permasalahan yang ada pada biogas adalah kandungan karbondioksida (CO₂) yang cukup tinggi mencapai 18,29 %, yang akan mempengaruhi performansi pembakaran biogas. CO₂ yang masih relatif tinggi ini perlu dihilangkan untuk meningkatkan performansi pembakaran biogas. Penelitian ini menyerap kandungan CO₂ yang terdapat pada biogas dengan menggunakan mikroalga *Chlorella sp.* dengan memanfaatkan proses fotosintesis yang terjadi pada mikroalga *Chlorella sp.* Penyerapan kandungan CO₂ dengan menggunakan *Chlorella sp.* ini dilakukan pada dua tipe digester biogas yang berbeda, yaitu tipe *fix dome* dan tipe plastik. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui perbandingan jumlah kandungan CO₂ dan O₂ pada digester biogas tipe *fix dome* dan tipe plastik serta mendeteksi gas CH₄ sebelum dimurnikan dan setelah dimurnikan, mempelajari kemampuan *Chlorella sp.* dalam mereduksi CO₂ pada kandungan biogas. Berdasarkan Hasil penelitian didapatkan hasil penurunan kadar CO₂ mencapai 5,03 % pada fotobioreaktor triple effect pada menit ke-30 yang berasal dari reaktor biogas tipe plastik, dan diperkirakan masih belum pada fase konstan, masih akan terjadi penurunan lagi jika biogas terus diaerasikan ke dalam media *Chlorella sp.* Kadar O₂ paling tinggi 17,87%. Tidak dapat diketahui jumlah penurunan kandungan CO₂ pada digester tipe *fix dome* dikarenakan beberapa faktor diantaranya kandungan awal CO₂ yang melebihi 20%, derajat keasaman yang cenderung asam mencapai 7,82, dan adanya kandungan Amonia (NH₃) mencapai 1 – 2 %.

Kata Kunci: Biogas, Karbondioksida, *Chlorella sp.*, absorpsi

Carbon dioxide on Biogas Absorption from Fix Dome and Plastic Type Digester Continually Using Microalgae (Chlorella sp.)

ABSTRACT

Utilization of biogas as an alternative energy has been quite effective in the community, but the main problem of biogas is high content of carbon dioxide (CO₂), that reaches 18.29%. The problem will decrease performance of combustion so that content of CO₂ either should be decreased or eliminated to increase performance of combustion. This research was utilizing photosynthesis of microalgae *Chlorella sp.* to absorb CO₂ content in biogas. This research was done on two different types of biogas digesters, fixed dome and plastic type. Aim of this study was observing ration of CO₂ and O₂ content from each digester as well as detecting CH₄ before and after purification, and ability of *Chlorella sp.* to reduce CO₂ in biogas. The result showed that decreased of CO₂ content reached 5.03% on triple effect photobioreactor in 30th minutes from biogas reactor plastic type, and predicted to remain at a constant phase yet. Decreasing will occurs if biogas still aerated through photobioreactor. Highest O₂ content reached 17.87 %. Decreasing of CO₂ content on digester fixed dome type was unknown due to several factors, including the initial CO₂ content exceeds 20 %, the microalgae acidity reached 7.82, and Ammonia (NH₃) content reached 1-2 %.

Keyword: *Biogas, Carbon dioxide, Chlorella sp., Absorption*

PENDAHULUAN

Kondisi yang sedang terjadi saat ini sumber energi minyak bumi semakin langka. Hal ini menjadi suatu permasalahan besar yang sedang dihadapi negara Indonesia. Salah satu solusinya melalui dikeluarkannya kebijakan pemerintah dalam konversi minyak tanah ke gas. Mengacu pada permasalahan tersebut maka kebutuhan akan sumber energi yang terbarukan (*renewable energy*) jelas menjadi pertimbangan yang sangat penting.

Penggunaan LPG dan LNG memang cukup efektif untuk mengatasi permasalahan kelangkaan minyak bumi, namun sumber energi tersebut memiliki jumlah cadangan yang terbatas dan bersifat tidak dapat diperbaharui lagi (*nonrenewable*). Salah satu sumber energi alternatif yang saat ini cukup potensial untuk diterapkan di Indonesia adalah biogas. Sebagian besar masyarakat Indonesia memiliki sapi ataupun hewan ternak yang lain, semakin diperkuat dengan banyaknya penelitian yang menyatakan bahwa biogas dapat dihasilkan dari sampah organik. Satu ekor sapi bisa menghasilkan rata-rata 23,59 kg/hari, sedangkan 30 kg kotoran sapi menghasilkan 1 m³biogas yang setara dengan 0,62 liter minyak tanah dan setara dengan 3,5 kg kayu bakar kering dan setara dengan 0,46 kg LPG (Dewi Hastuti, 2009).

Kandungan *methane* (CH₄) dan nilai kalor biogas berkisar antara 4800 – 6700 kkal/m³ (Harahap, 1978). Namun gas yang dihasilkan dari proses anaerob biogas tidak hanya *methan* (CH₄) terdapat pula kandungan CO₂ atau yang lainnya, hal ini menyebabkan berkurangnya nilai kalor pembakaran pada biogas. Pembakaran gas metan murni pada tekanan 1 atm dan temperatur 15,5°C yaitu 9100 Kkal/m³ (12740 Kkal/kg). Sedangkan nilai kalor pembakaran biogas sekitar 4800 – 6900 Kkal/m³ (6720 – 9660 Kkal/kg). Karena tingginya kandungan CO₂ dalam biogas menyebabkan nilai kalor pembakaran turun menjadi sebesar 4301,63 – 6213,47 Kkal/m³ (6022,28 – 8698,85Kkal/kg) dari nilai pembakaran CH₄ murni sebesar 9559,18 Kkal/m³(13382,85Kkal/kg). Untuk menurunkan kandungan CO₂ pada biogas maka perlu dilakukan pengurangan kadar CO₂biogas salah satunya dengan menggunakan mikroalga *Chlorella sp.*(Harasimowicz *et al*, 2007).

Alga jenis tertentu (*Chlorella sp.*)memiliki pigmen warna hijau (klorofil) sehingga dapat melakukan fotosintesis. Dalam proses fotosintesis memerlukan CO₂ sebagai bahan baku untuk pembentukan senyawa metabolit dan biomassa. *Chlorella sp.*mempunyai daya resistansi tinggi dan memiliki tingkat pertumbuhan relatif cepat, sehingga membutuhkan gas CO₂ cukup tinggi.

Dalam penelitian yang telah dilakukan oleh Nurdiansyah (2012) telah diperoleh hasil yang memuaskan dalam penyerapan CO₂ biogas dengan menggunakan mikroalga *Chlorella sp.* pada fotobioreaktor tipe *batch*. Berikut tabel hasil penyerapan CO₂ dengan menggunakan mikroalga *Chlorella sp.* pada fotobioreaktor tipe *batch*:

Tabel 1. Hasil Penyerapan CO₂ Biogas Dengan Menggunakan *Chlorella sp.*

Hari	<i>Chlorella indoor</i> (%)	<i>Chlorella outdoor</i> (%)
0	17,853	17,853
2	15,120	15,147
4	11,283	12,270
6	4,727	8,340
8	0,180	4,290

Sumber : (Nurdiansyah, 2012)

Berikut hasil penelitian pendahuluan yang telah dilakukan menggunakan fotobioreaktor tipe single (*single effect*) secara kontinyu :

Tabel 2. Penelitian Pendahuluan

Menit	CO ₂ (%)	O ₂ (%)	CH ₄ (ppm)
0	19,08	7,94	≥ 1920
2	14,30	9,05	≥ 1920
5	19,24	7,59	≥ 1920
10	16,06	8,53	≥ 1920
15	12,85	10,70	≥ 1920

Hasil di atas menunjukkan bahwa penurunan kadar CO₂ biogas mencapai 6% selama 15 menit dengan menggunakan fotobioreaktor *single effect* yang berisi *Chlorella sp.*

BAHAN DAN METODE

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kultur *Chlorella sp.*, sedangkan alat-alat yang digunakan adalah: Kran, *Haemocytometer*, *Lux Meter*, *Gas Analyzer merk Stargas 898*, *Fotobioreaktor closed system*, *Timer*, Gelas Ukur, Kantong Plastik, Lampu neon 40 Watt, *Aerator Vacuum*, *Methan Detector*, *Manometer*, pH Meter, Thermometer

Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan cara mensterilisasi reaktor dengan menggunakan alkohol 70% agar reaktor tidak terkontaminasi dengan mikroalga lain yang kemungkinan akan menyulitkan dalam proses penelitian. Sebelumnya diambil sampel biogas untuk dianalisa kandungan CO₂ awal pada biogas. Kemudian biogas dialirkan menuju reaktor meliputi reaktor *single effect*, *double effect*, dan *triple effect* yang berisi *Chlorella sp.* melalui pipa masukan kemudian biogas yang telah melalui larutan tersebut akan ditampung dan bisa langsung dimanfaatkan (tipe *continue*).

Proses yang digunakan dengan cara, reaktor yang sudah diisi dengan *Chlorella sp.* serta pupuk dan vitamindialiri biogas dari digester dengan menggunakan *Aerator*, hal ini bertujuan agar aliran biogas yang masuk ke dalam fotobioreaktor berjalan konstan. Kemudian gas yang sudah melewati *Chlorella sp.* akan keluar melalui kran output yang terdapat pada bagian atas masing-masing reaktor. Sampel gas akan diambil dari masing-masing reaktor untuk diketahui kandungan CO₂ nya. Setelah melewati 3 reaktor gas akan masuk ke dalam penampungan dan bisa langsung digunakan. Pengambilan sampel dalam proses pemurnian pada hitungan menit dengan media yang diamati adalah kandungan CO₂. Perlakuan di atas dilakukan pada digester biogas tipe *fix dome* dan digester biogas tipe elastik.

Penelitian ini menggunakan 3 tipe reaktor yang berbeda, yaitu reaktor tipe *single*, reaktor tipe *double*, dan reaktor tipe *triple*.

Pada penelitian ini pengambilan data dilakukan sebagai berikut :

A. Data kandungan CO₂.

1. Kontrol : pengambilan data pada menit ke-0
2. Tahap I : pengambilan data CO₂ pada menit ke-0, kemudian pada menit ke- 5, menit ke-10, menit ke-20, dan menit ke-30.

B. Data kepadatan *Chlorella sp.*.

1. Kontrol : pengambilan data pada menit ke-0
2. Tahap I : pengambilan data kepadatan *Chlorella sp.* setelah diaerasikan biogas (setelah menit ke-30).

Pengambilan dan Pengolahan Data

Metode pengambilan data pada penelitian ini adalah dengan 2 kali ulangan pada digester yang berbeda dan terdapat 2 faktor. Dimana faktor 1 adalah waktu penyerap CO₂ pada media *Chlorella sp.* yaitu menit ke-5, menit ke-10, menit ke-20, dan menit ke-30, kemudian perlakuan yang sama dilakukan pada hari yang berbeda dan digester biogas yang berbeda. Sedangkan untuk faktor 2 adalah jumlah reaktor pemurnian biogas yaitu *single effect*, *double effect*, dan *triple effect*.

1. Faktor 1 : waktu penyerapan CO₂ pada media *Chlorella sp.* (menit)

A: menit ke-0

A1 : menit ke-5

A2 : menit ke-10

A3 : menit ke-20

A4 : menit ke-30

2. Faktor 2 : Jumlah reaktor pemurnian

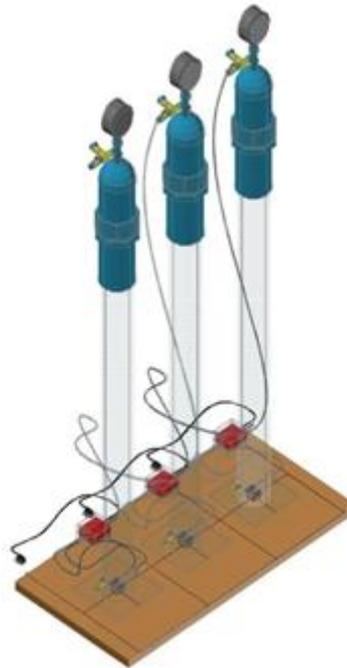
R : Kontrol

R1 : *single effect*

R2 : *double effect*

R3 : *triple effect*

Dalam penelitian ini menggunakan 3 jenis reaktor yang dibedakan dari jumlah reaktornya dan diambil dari digester yang berbeda. Pertama, dengan menggunakan *single effect*, biogas hanya dialirkan pada satu reaktor yang berisi *Chlorella sp.* dan kemudian diukur kandungan CO₂ yang tersisa (%). Kemudian yang kedua, dengan menggunakan *double effect* biogas dialirkan melalui dua reaktor yang berisi *Chlorella sp.* dan diukur kandungan CO₂ yang tersisa (%). Ketiga, dengan menggunakan *triple effect*, biogas dialirkan melalui tiga reaktor yang berisi *Chlorella sp.* dan diukur kandungan CO₂ yang tersisa (%). Setelah itu dilakukan perlakuan yang sama pada digester biogas yang berbeda. Kemudian dibandingkan hasil dari kedua digester yaitu digester biogas tipe *fix dome* dan dibiogas tipe plastik.



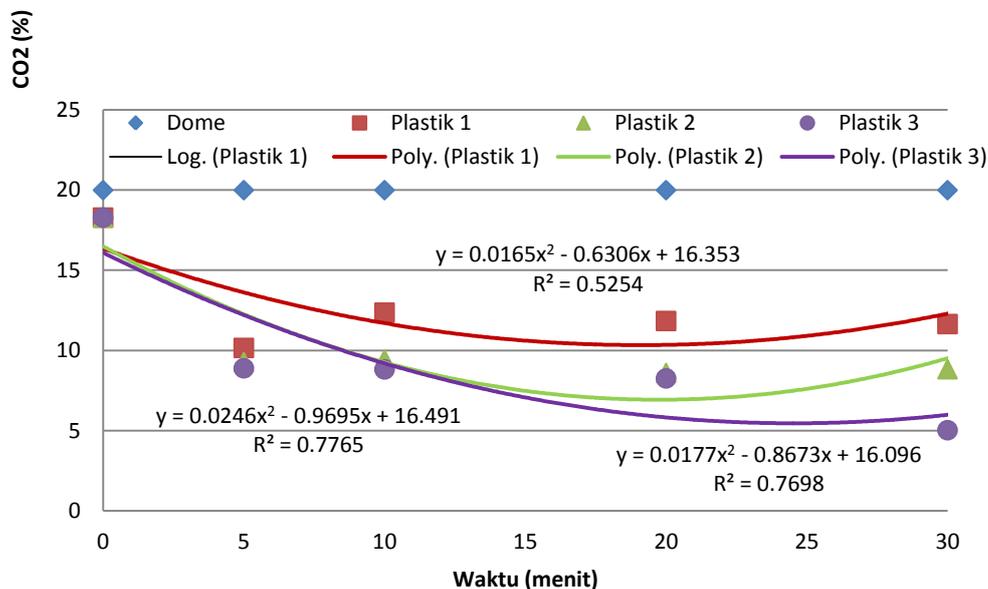
Gambar 1. Rancangan Struktural Fotobioreaktor

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kandungan CO₂

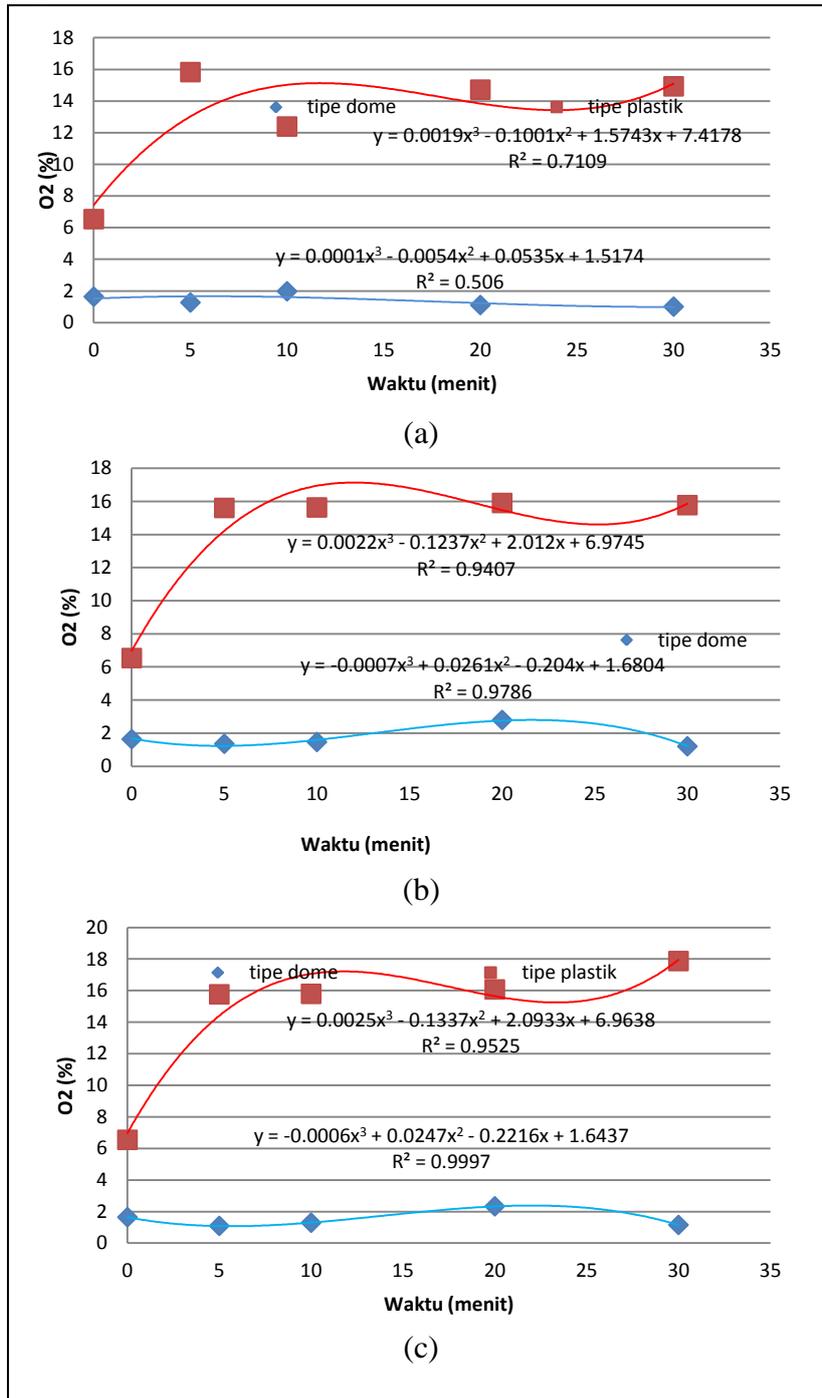
Grafik diatas memperlihatkan perbedaan penurunan kandungan CO₂ pada masing - masing perlakuan. Perlakuan yang dilakukan pada digester tipe *fix dome* selama 30 menit, ketiga reactor mendapatkan hasil > 20 % kandungan CO₂. Tidak didapatkannya kandungan CO₂ sebenarnya pada digester tipe *fix dome* dikarenakan tingginya kandungan CO₂ awal yang ada pada digester tipe *fix dome* sehingga tidak terbaca pada pengujian dengan menggunakan alat *Gas Analyzer merk Stargas 898*. Selain tingginya kandungan CO₂, pada digester tipe *fix dome* juga terdapat kandungan Amonia (NH₃) yang bersifat racun untuk makhluk hidup termasuk mikroalga. Hal ini dibuktikan dengan kematian mikroalga yang diaerasi dengan biogas yang berasal dari digester tipe *fix dome* pada selang waktu 3 hari.

Perlakuan yang dilakukan pada digester tipe plastik mengalami penurunan kandungan CO₂ yang cukup baik pada masing-masing reactor pemurnian. Kandungan CO₂ awal 18,29 % mengalami penurunan mencapai 5,03 % pada menit ke-30 (reaktor tipe triple). Penurunan kandungan CO₂ pada masing-masing reactor setiap menitnya cenderung stabil, namun jika dilihat penurunan kandungan CO₂ yang cukup tinggi terjadi pada reaktor tipe triple sebesar 8,26 % (menit ke-20) menjadi 5,03 % (menit ke-30). Diperkirakan fase ini belum pada fase konstan, dan masih akan mengalami penurunan kandungan CO₂ pada menit-menit berikutnya. Kondisi mikroalga yang diaerasikan dengan biogas dari diester tipe plastik relatif baik dan tidak mengalami kematian. Dibuktikan dengan kenaikan kepadatan mikroalga dari 1×10^6 menjadi 1×10^7 pada selang waktu 3 hari.



Gambar 1. Grafik Perbandingan Kandungan CO₂ pada Reaktor Single Effect, Double Effect, Triple Effect (Digester tipe *fix dome* dan digester tipe plastik)

Kandungan O₂



Gambar 2. Grafik Perbandingan Kandungan O₂ pada Reaktor (a) *Single Effect*, (b) *Double Effect*, (c) *Triple Effect*

Grafik di atas menunjukkan kenaikan O₂ pada masing-masing reaktor, yang berasal dari digester biogas tipe fix dome dan tipe plastik. Kenaikan O₂ yang berasal dari digester biogas tipe fix dome cenderung tidak stabil dan mengalami naik turun. Hal ini disebabkan karena kurang maksimalnya penyerapan CO₂ oleh mikroalga *Chlorella.sp* yang dipengaruhi tingginya

kandungan CO₂ awal dan terdapatnya kandungan Amonia (NH₃) pada digester biogas tipe fix dome. Berikut tabel kenaikan O₂ pada digester tipe fix dome :

Tabel 3. Kenaikan kandungan O₂ pada digester tipe fix dome

tipe reaktor menit	single effect	double effect	triple effect
	O ₂ (%)	O ₂ (%)	O ₂ (%)
0	1.64	1.64	1.64
5	1.27	1.36	1.09
10	1.98	1.47	1.29
20	1.11	2.8	2.33
30	1.06	1.21	1.15

Kenaikan kandungan O₂ pada digester tipe plastik mengalami kenaikan yang stabil pada masing-masing reaktor di setiap menitnya. Hal ini sesuai dengan data penurunan CO₂ yang terjadi pada digester tipe plastik. Berikut tabel kenaikan O₂ pada digester tipe plastik :

Tabel 4. Kenaikan kandungan O₂ pada digester tipe plastik :

tipe reaktor menit	single effect	double effect	triple effect
	O ₂ (%)	O ₂ (%)	O ₂ (%)
0	6.54	6.54	6.54
5	15.83	15.61	15.76
10	12.39	15.64	15.79
20	14.72	15.91	16.07
30	14.93	15.78	17.87

Deteksi Methana (CH₄)

Tabel 5. Hasil Deteksi Keberadaan CH₄ pada Digester Biogas Tipe *Fix Dome* dan Tipe Plastik

Reaktor Biogas Tipe <i>Fix dome</i>			
Tipe waktu	Methana (CH ₄) (ppm)		
	<i>Single effect</i>	<i>Double effect</i>	<i>Triple effect</i>
Menit 0	>1920	>1920	>1920
Menit 5	>1920	>1920	>1920
Menit 10	>1920	>1920	>1920
Menit 20	>1920	>1920	>1920
Menit 30	>1920	>1920	>1920

Reaktor Biogas Tipe Plastik			
Tipe waktu	Methana (CH ₄) (ppm)		
	<i>Single effect</i>	<i>Double effect</i>	<i>Triple effect</i>
Menit 0	>1920	>1920	>1920
Menit 5	>1920	>1920	>1920
Menit 10	>1920	>1920	>1920
Menit 20	>1920	>1920	>1920
Menit 30	>1920	>1920	>1920

Berdasarkan data di atas menandakan bahwa penyerapan CO₂ dengan menggunakan fotobioreaktor tipe kontinyu yang berisi *Chlorella sp.* tidak terlalu banyak mempengaruhi kehilangan CH₄ sehingga tidak banyak berpengaruh pada hasil pembakaran biogas. Keseluruhan menunjukkan hasil lebih dari 1920 ppm, baik biogas yang dihasilkan dari reaktor tipe *fix dome* ataupun tipe plastik. Kekurangan dari pendeteksian CH₄ yang dihasilkan dari proses penyerapan CO₂ ini adalah hanya mendeteksi keberadaan CH₄ di dalam biogas, sehingga tidak dapat diketahui kandungan Methana terjadi penurunan atau tidak.

Faktor Kematian Mikroalga yang Disebabkan Kandungan dari Biogas

Kematian mikroalga *Chlorella sp.* bisa dilihat setelah diaerasikannya biogas terus-menerus selama tiga hari ke dalam fotobioreaktor. Hal tersebut ditandai dengan berubahnya warna mikroalga menjadi hijau kekuningan. Faktor kematian mikroalga secara umum disebabkan oleh:

1. Derajat keasaman (pH)

Derajat keasaman (pH) yang ideal bagi kehidupan organisme akuatik pada umumnya berkisar antara 7 sampai 8,5 (Yazwar, 2008). Kondisi perairan yang bersifat asam maupun basa akan membahayakan kelangsungan hidup organisme, karena akan menyebabkan terjadinya gangguan metabolisme dan respirasi. Selain itu pH yang sangat rendah akan menyebabkan mobilitas berbagai senyawa logam berat yang bersifat toksik semakin tinggi, yang tentunya akan mengancam kelangsungan hidup organisme akuatik. Sementara pH yang tinggi akan menyebabkan keseimbangan antara ammonium dan amonia dalam air akan terganggu, dimana kenaikan pH di atas netral akan meningkatkan konsentrasi amonia yang juga bersifat sangat toksik bagi organisme (Barus, 2001 dalam Yazwar, 2008).

Jika dilihat dari data yang diperoleh dari pengujian pH mikroalga yang diaerasikan biogas baik dari digester tipe *fix dome* maupun tipe plastik tidak didapatkan derajat keasaman yang begitu rendah, ataupun begitu tinggi sehingga pH dianggap tidak terlalu berpengaruh pada kematian mikroalga.

2. Amonia (NH₃)

Amonia (NH₃) adalah gas yang tidak berwarna dengan titik didih -33°C. Gas amonia lebih ringan dibandingkan udara, dengan densitas kira-kira 0,6 kalidensitas udara pada suhu yang sama. Bau yang tajam dari amonia dapat dideteksi pada konsentrasi yang rendah 1 – 5 ppm (Brigden dan Stringer, 2000).

Amonia sangat beracun bagi hampir semua organisme. Jika terlarut di perairan akan meningkatkan konsentrasi amonia yang menyebabkan keracunan bagi hampir semua organisme perairan (Valupadas, 1999).

Pada biogas kandungan amonia (NH₃) mencapai 1 – 2 % (Abdulkareem, 2005). Pada waktu biogas diaerasikan pada media mikroalga *Chlorella sp.*, maka amonia akan larut dalam air dan bersifat toksik terhadap mikroalga yang menyebabkan kematian mikroalga. Hal ini terjadi pada pengujian yang dilakukan pada digester biogas tipe *fix dome*, karena kapasitas yang lebih besar dibanding dengan digester biogas tipe plastik yang memungkinkan proses dekomposisi bahan organik yang menghasilkan amoniak juga lebih besar.

3. Tingginya CO₂

Setiap tetes air mengandung 0,6 bpj CO₂ dengan persamaan reaksi sebagai berikut :



Hal ini dapat menyebabkan air bersifat asam (Sastrawijaya, 2000).

Berdasarkan literatur tersebut maka dapat diketahui bahwa molekul air yang bercampur dengan CO₂ akan bersifat asam dan berpengaruh pada kematian mikroalga. Hal tersebut sesuai dengan percobaan yang dilakukan pada digester biogas tipe *fix dome* yang memiliki kandungan CO₂ awal cukup tinggi, maka akan menyebabkan kondisi media tumbuh mikroalga di dalam fotobioreaktor semakin asam.

SIMPULAN

Kandungan CO₂ pada digester tipe *fix dome* tidak bisa diketahui jumlah pastinya, dikarenakan terlalu tingginya kandungan CO₂ awal yang melebihi 20%. Namun jika dilihat dari hasil kandungan O₂, diperkirakan terjadi perubahan kandungan CO₂ meskipun tidak dalam jumlah yang banyak. Sedangkan kandungan CO₂ pada digester tipe plastik, *Chlorella sp.* dapat menyerap kandungan CO₂ dengan baik sehingga terjadi penurunan kandungan CO₂ dari kandungan awal 18,29% menjadi 5,03% dan terjadi kenaikan O₂ sesuai dengan turunnya kandungan CO₂. Kemampuan *Chlorella sp.* dalam mereduksi CO₂ dipengaruhi oleh kondisi awal biogas meliputi kandungan CO₂ awal, kelembaban, dan derajat keasaman (pH). Hal ini dibuktikan dengan tidak maksimalnya *Chlorella sp.* dalam mereduksi kandungan CO₂, data kandungan O₂ yang tidak beraturan dan kondisi mikroalga yang cenderung asam setelah diaerasikannya biogas dari digester tipe *fix dome*. Dikarenakan kelembaban yang tinggi, kandungan CO₂ awal yang tinggi dan kondisi biogas yang cenderung asam pada digester biogas tipe *fix dome*. Berbeda dengan penyerapan dari digester biogas tipe plastik, *Chlorella sp.* dapat mereduksi CO₂ dengan baik karena didukung dengan kandungan CO₂ awal biogas yang rendah, kelembaban yang rendah dan derajat keasaman yang cenderung basa. Deteksi kandungan gas methana (CH₄) yang terdapat pada biogas setelah diaerasikan ke media *Chlorella sp.* masih besar yaitu lebih dari 1920 ppm.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih kepada PNBP Fakultas Teknologi Pertanian 2012 yang telah membantu penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdulkareem, A.S. 2005. *Refining Biogas Produced from Biomass: An Alternative to Cooking Gas*. Chemical Engineering Department, Federal University of Technology, Minna, Niger state, Nigeria
- Brigden, K. and Stringer, R. 2000. *Ammonia and Urea Production : Incidents of Ammonia Release From The Profertil Urea and Ammonia Facility*. Bahia Blanca, Argentina, Greenpeace Research Laboratories, Departement of Biological Science University of Exeter, UK.
- Harahap, F.M., Apandi, dan S. Ginting. 1978. *Teknologi Gasbio*. Bandung : treatment. *Journal of Animal Science* 12 (4): 604 – 606.
- Harasimowicz, M., P. Orluk , G. Zakrzewska-Trznadel and A.G. Chmielewski, 2007, *Application of Polyimide Membranes for Biogas Purification and Enrichment*, *Journal of Hazardous Materials*, vol. 144, pp. 698 – 702.
- Hastuti, Dewi. 2009. *Aplikasi Teknologi Biogas Guna Menunjang Kesejahteraan Petani Ternak*. Mediagro. Vol 5. No.1 Hal: 20 – 26. Semarang
- Sastrawijaya, A. T., 2000. *Pencemaran Lingkungan*. Rineka Cipta, Jakarta.
- Valupadas, P., 1999. *Wastewater Management Review for Fertilizer Manufacturing Sector*. Environmental Science Division, Environmental Service.
- Yazwar, 2008. *Keanekaragaman Plankton dan Keterkaitannya dengan Kualitas Air*. Tesis Pasca Sarjana UNSU.