

PENCERNAAN ANAEROBIK MAKROALGA *Gracilaria* sp. PADA SISTEM BATCH UNTUK MEMPRODUKSI BIO-METANA

ANAEROBIC DIGESTION OF MACROALGA *Gracilaria* sp. IN BATCH SYSTEM TO PRODUCE BIO-METHANE

Mujizat Kawaroe^{1*}, Udin Hasanudin², dan Krisye¹

¹Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan, Institut Pertanian Bogor, Bogor

*E-mail: mujizat@ipb.ac.id; mujizat@gmail.com

²Departemen Teknologi Hasil Pertanian, Universitas Lampung, Lampung

ABSTRACT

*This study aimed to determine the potential of bio-methane produced by *Gracilaria* sp. in a batch system. The experiment was conducted in batch system and it was initiated by acclimatization process (12 days) and ended methane production process (30 days). The results showed that biochemical properties of *Gracilaria* sp. are carbohydrate 65.46 ± 0.58%, lignin 13.20 ± 2.23%, TOC (Total Organic Carbon) 33.39 ± 0.23%, Nitrogen 1.12 ± 0.01%, and C/N ratio 29.82. Acclimatization proceeded successfully and it was indicated by 62.7 L biogas of 4.025 L of substrate *Gracilaria* sp. produced within a pH range of 6.2 - 7.1. The batch method of anaerobic biodegradation showed that 4 kg of *Gracilaria* sp. can produced 131.1 L of biogas containing methane and 46.7 L or 11.6 L CH₄ /kg.*

Keywords: anaerobic, bio-methane, macroalga, *Gracilaria* sp.

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan menentukan potensi bio-metana yang dihasilkan *Gracilaria* sp. pada sistem *batch*. Penelitian ini dilakukan di sistem *batch* mulai dari proses aklimatisasi (12 hari) dan proses produksi metana (30 hari). Hasil penelitian menunjukkan bahwa karakteristik biokimia dari *Gracilaria* sp. adalah karbohidrat 65,46 ± 0,58%, lignin 13,20 ± 2,23 %, TOC (Total Organic Carbon) 33,39 ± 0,23 %, Nitrogen 1,12 ± 0,01 %, dan rasio C/N 29,82. Proses aklimatisasi bekerja dengan baik yaitu dari 4,025 L substrat *Gracilaria* sp. menghasilkan biogas 62,7 L dengan kisaran pH 6,2 - 7,1. Hasil biodegradasi anaerob menggunakan metode *batch* ditemukan bahwa dari 4 kg dari *Gracilaria* sp. dapat menghasilkan 131,1 L biogas dengan kandungan metana sebesar 46,7 L atau 11,6 L CH₄/kg.

Kata kunci: anaerobik, bio-metana, makroalga, *Gracilaria* sp.

I. PENDAHULUAN

Gracilaria sp. merupakan jenis makroalga yang banyak tumbuh dan berkembang di Indonesia. *Gracilaria* sp. sejauh ini diketahui banyak dibudidayakan sebagai penghasil agar baik di industri dalam negeri maupun luar negeri. Dalam perdagangan, harga rumput laut ditentukan berdasarkan kualitas. Rumput laut harus memenuhi standar yang dikeluarkan oleh SNI 1998 (Rusdi *et al.*, 2013). Hasil budidaya yang tidak memenuhi standar dan tidak bisa dimanfaatkan lagi dapat dimanfaatkan untuk biogas. Be-

berapa penelitian tentang biogas dari bahan *Gracilaria* sp. telah dilakukan oleh Hanisak (1981), Habig *et al.* (1984), dan Costa *et al.* (2012). Biogas dapat dihasilkan melalui proses pencernaan secara anaerobik. Proses pencernaan anaerobik yaitu proses fermentasi (tanpa udara) oleh bakteri metana atau *Methanobacterium*. Biodegradasi anaerobik berjalan dalam empat tahap reaksi yaitu hidrolisis, asidogenesis, asetogenesis dan metanogenesis (Horn, 2000). Komposisi biogas yang dihasilkan sebagian besar terdiri dari 50-75% metana (CH₄), 25-50% karbondioksida (CO₂)

1-5% H₂, dan 0,3-3% N₂ (Bedoya and Cada-vid, 2009).

Proses pencernaan anerobik sangat dipengaruhi oleh kandungan lignin. Lignin adalah polimer yang strukturnya heterogen dan kompleks serta menyelimuti karbohidrat pada tumbuhan, sehingga enzim pengurai dari bakteri sulit untuk mendegradasi (Briand and Morand, 1997). Tumbuhan darat seperti batang pisang memiliki kadar lignin sebesar 15-20% sedangkan tumbuhan laut memiliki kadar lignin lebih rendah seperti makroalga *Gracilaria salicornia* 9% (Kalia *et al.*, 2000; Yoza and Masutani, 2013; Kawaroe *et al.*, 2015).

Umumnya pencernaan anaerobik untuk menghasilkan biogas menggunakan metode semi-kontinu dan *batch*. Perbedaan antara metode semi-kontinu dan *batch* adalah dalam hal pemasukan substrat. Pada metode semi-kontinu, substrat dimasukkan setiap hari atau periode tertentu, sehingga dapat diperkirakan seberapa banyak substrat yang dibutuhkan untuk menghasilkan biogas yang optimal (Sitompul *et al.*, 2012). Metode tersebut tidak dapat digunakan untuk mengetahui potensi produksi biogas dari suatu substrat. Pada metode *batch* pemasukan substrat hanya dilakukan satu kali selama periode dekomposisi, sehingga dapat ditentukan jumlah biogas dan waktu yang diperlukan untuk menghasilkan biogas dari substrat tersebut (Oetomo dan Soehartanto, 2013)

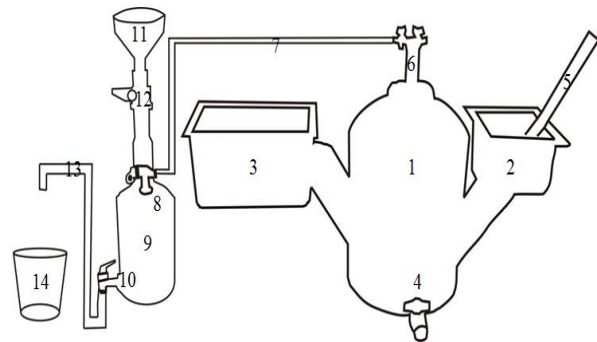
Penelitian ini bertujuan menunjukkan karakteristik kimiawi *Gracilaria* sp., mengungkap proses aklimatisasi, untuk menentukan kandungan produksi metan dari bahan *Gracilaria* sp. Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai bahan informasi tentang potensi energi biogas dari tumbuhan laut khususnya makroalga sebagai energi baru dapat diterapkan di kawasan pesisir dan pulau-pulau kecil.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan pada Bulan Desember 2013 sampai Juli 2014 di Laboratorium *Surfactant and Bioenergy Research Centre* (SBRC) Kampus IPB Baranang Siang, Institut Pertanian Bogor, Laboratorium Pengujian Departemen Teknologi Institut Pertanian Bogor, dan Laboratorium Pengelolaan Limbah Agroindustri Universitas Lampung.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *digester* 30 L (Gambar 1). Starter dari kotoran sapi serta substrat dari *Gracilaria* sp. dimasukkan ke dalam *digester* kemudian diaduk untuk mencampurkan substrat dengan starter (*slurry*) yang mengandung bakteri pendegradasi. Pengukuran pH, COD, total solid dan volatil solid *slurry* dilakukan. Biogas yang dihasilkan dialirkan dari *digester* ke penampung gas. Penampung gas yang berisi air kemudian dialirkan ke penampung air jika ada aliran biogas dari *digester*. Volume biogas yang dihasilkan dapat ditentukan berdasarkan volume air yang tertampung pada penampung air. Konsentrasi metan dalam biogas yang tertampung ditentukan.

Gracilaria sp. diperoleh dari Provinsi Banten dan starter berupa kotoran sapi diperoleh dari kandang sapi di Kampus MB-IPB jalan Padjajaran.



Gambar 1. *Digester* untuk biodegradasi anaerobik *Gracilaria* sp. dalam menghasilkan biogas.

dimana: 1= *digester*, 2= tempat pemasukan, 3= tempat pengeluaran, 4= kran pengeluaran *Slurry*, 5= pengaduk, 6= kran pengeluaran biogas, 7= selang pengaliran biogas, 8= kran pemasukan dan pengambilan biogas, 9= penampung air dan biogas, 10= kran pengeluaran air, 11= corong pemasukan air, 12= kran pemasukan air, 13= selang pengeluaran air, 14= tempat penampung dan pengukuran volume air.

2.1. Analisis Proksimat Kandungan Kimia *Gracilaria* sp.

Gracilaria sp. dibersihkan dari kotoran dan pasir dan selanjutnya dikeringkan dengan cahaya matahari. Sampel kering ditentukan kadar air, kadar abu, karbohidrat, lemak, protein, nitrogen berdasarkan AOAC (2005), lignin (Van Soest and Wine, 1967) dan *Total Organic Carbon* (TOC) (Walkley and Black, 1934).

2.2. Pembuatan Substrat *Gracilaria* sp.

Gracillaria sp. yang telah dibersihkan dan dikeringkan dengan cahaya matahari, direndam dengan akuades selama 2 jam untuk mengembalikan bentuk awal makroalga seperti di laut. Makroalga tersebut kemudian dicampur dengan akuades dengan perbandingan 1:2 (*Gracillaria* sp. 1 kg: Aquades 2 L), setelah itu dihaluskan menggunakan blender hingga menjadi substrat yang dapat digunakan, baik dalam proses aklimatisasi maupun metode *batch*.

2.3. Pembuatan Starter dan Proses Aklimatisasi

Starter dibuat dari hasil saringan campuran kotoran sapi dan aquades dengan perbandingan 1:1 (kotoran sapi 1 kg: aquades 1 liter). Starter kemudian dimasukkan ke dalam *digester* yang berukuran 30 L sebanyak 24 L (volume kerja). 6 L yang tersisa disiapkan sebagai ruang untuk produksi biogas, dan setelah itu dibiarkan selama beberapa hari sampai nilai pH netral dan menghasilkan biogas. Selanjutnya setiap hari campuran ditam-

bahkan substrat *Gracilaria* sp. untuk aklimatisasi 0,161 L, dan kemudian diikuti dengan pengeluaran *slurry* dari *digester* dengan jumlah volume yang sama dan terus dilakukan sampai pH mendekati netral dan stabil. 0,161 L dari substrat *Gracilaria* sp. didapatkan berdasarkan hasil perhitungan laju pembebanan 0,5 kg/m³/hari (nilai mutlak) dikali volume kerja (24 L) dan dibagi dengan nilai COD (*Chemical Oxygen Demand*) *Gracilaria* sp. (74,457 kg/m³). Selama proses pembuatan starter dan aklimatisasi, pengadukan, pengukuran pH dan volume biogas dilakukan setiap hari.

2.3. Biodegradasi Anaerobik dengan Metode *Batch*

Biodegradasi anaerobik dengan metode *batch* dilakukan dengan cara mengeluarkan *slurry* dari dalam *digester* sebanyak setengah dari volume kerja (12 L) dan menambahkan substrat *Gracillaria* sp. sebanyak 12 L (4 kg *Gracillaria* sp. : 8 L akuades).

Penambahan substrat ke dalam *digester* hanya satu kali dilakukan selama masa penelitian. Selama proses ini, pengadukan, pengukuran pH dan volume gas dilakukan setiap hari. Konsentrasi metana dan COD diukur satu kali seminggu.

2.4. Produksi Volume Biogas dan Derajat Keasaman (pH)

Volume biogas yang dihasilkan diamati berdasarkan volume air yang tertampung di penampung air. Penampung gas diisi air sampai penuh, kemudian keran gas pada *digester* dibuka agar biogas yang dihasilkan dalam *digester* dapat mengalir ke penampung gas. Aliran gas tersebut memberikan tekanan pada air untuk mengalir keluar dan tertampung di penampung air, sehingga volumenya dapat diukur.

Pengukuran pH dilakukan dengan cara mengeluarkan *slurry* dari *digester* dan ditampung di wadah. Setelah itu, pH diukur menggunakan pHmeter. Pengukuran volume biogas dan pH dilakukan setiap harinya.

2.5. Konsentrasi Metana (CH₄) dan Chemical Oxygen Demand (COD)

Biogas yang berada dalam penampung gas diambil dengan terlebih dahulu melepas selang gas dari *digester* yang terpasang pada penampung gas, kemudian diganti dengan plastik sampel gas. Setelah itu, air dimasukkan ke dalam penampung gas agar biogas yang tertampung dapat mengalir ke dalam plastik sampel gas. Setelah itu, plastik sampel gas dicabut dan selang gas dari *digester* dipasang kembali. Konsentrasi metana yang dikandung biogas dalam plastik sampel gas kemudian diukur menggunakan *Gas Chromatograph* (AOAC, 2005) yang dilakukan satu kali seminggu. Untuk menganalisis kadar COD, *slurry* dari dalam *digester* diambil sebanyak yang dibutuhkan (100 – 200 ml). Hal ini dilakukan satu kali seminggu berdasarkan APHA (1998).

2.6. Total Solid (TS) dan Volatil Solid (VS)

Slurry dari dalam *digester* diambil sesuai kebutuhan kemudian ditaruh pada cawan porselen setelah itu dipanaskan dalam oven pada suhu 105°C selama 5 jam kemudian timbang berat akhirnya untuk mengetahui kadar total solidnya. Setelah kadar total solid diukur, sampel kemudian dimasukkan ke dalam tanur untuk diabukan dengan suhu yang digunakan 600°C selama 3 jam, setelah itu timbang berat akhirnya untuk mengetahui kadar volatil solidnya. Pengukuran kadar total solid dan volatil solid dilakukan setiap satu kali seminggu. Analisis total solid dan volatil solid berdasarkan metode APHA (APHA, 1998).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Kadar Proksimat *Gracilaria* sp.

Analisis proksimat dilakukan untuk mengetahui kualitas makroalga sebagai substrat dalam menghasilkan biogas. Hasil analisis proksimat makroalga *Gracilaria* sp. diperlihatkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Kadar proksimat *Gracilaria* sp.

Kadar Proksimat (%)	
Kadar Air	19,17±0,37
Kadar Abu	10,12±1,48
Kadar Lemak	0,82±0,33
Kadar Karbohidrat*	65,46±0,58
Kadar Protein	4,43±0,82
Lignin	13,20±2,23
TOC (<i>Total Organic Carbon</i>)	33,39±0,23
Nitrogen	1,12±0,01
C/N	29,82

* *by difference* (100% - (% kadar air + % kadar abu + % kadar lemak + % kadar protein)).

Kadar air *Gracilaria* sp. sebesar 19,17% cukup membantu proses biodegradasi (Saputro *et al.*, 2009). Kadar abu, berupa zat anorganik/mineral sisa hasil pembakaran makroalga, *Gracilaria* sp. sebesar 10,12%. Menurut (Tabarsa *et al.*, 2012), *Gracilaria salicornia* memiliki kadar abu yang cukup tinggi 18,03% yang terdiri dari beberapa mineral utama seperti kalium, natrium, dan kalsium.

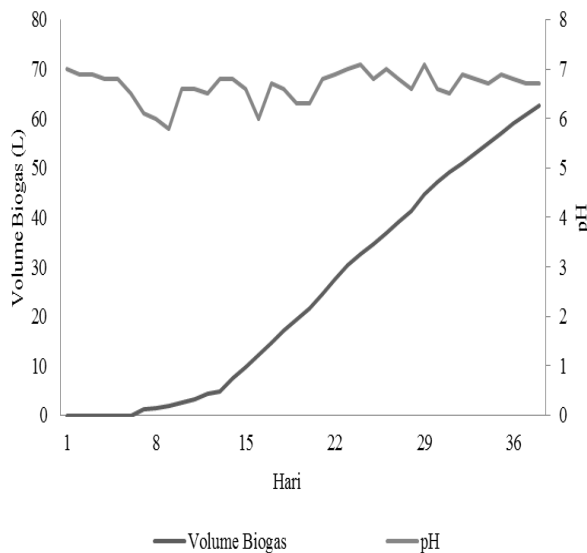
Lemak, karbohidrat dan protein pada makroalga merupakan kandungan organik yang dihidrolisis oleh mikroorganisme. Karbohidrat memiliki kadar paling tinggi dibandingkan lemak dan protein. *Gracilaria* sp. memiliki karbohidrat yang cukup tinggi yaitu sebesar 65,46 ± 0,58%. Karbohidrat pada *Gracilaria* sp. berupa agar dapat terurai secara anaerobik oleh bakteri (Norziah and Ching, 2000), untuk menghasilkan biogas. Lignin adalah polimer dengan struktur heterogen kompleks yang menyelimuti karbohidrat pada tumbuhan sehingga enzim pengurai dari bakteri sulit untuk mendegradasi (Briand and Morand, 1997). Pada penelitian ini *Gracilaria* sp memiliki kadar lignin yg rendah yaitu sebesar 13,20 ± 2,23%. Kadar lignin sebesar 15% sudah dapat menghambat proses biodegradasi (Pfeffer and Khan, 1976). Lignin yang rendah pada makroalga menyebabkan proses biodegradasi dapat

berjalan dengan mudah (Kawaroe *et al.*, 2015b).

Rasio C/N berpengaruh dalam proses biodegradasi dimana C sebagai sumber energi untuk mikroorganisme sedangkan N merupakan senyawa penting dalam sel yang menentukan aktivitas pertumbuhan mikroorganisme. Rasio C/N pada *Gracilaria* sp. diperoleh 29,82 yang berada pada antara 20/1 - 30/1 mengindikasikan biodegradasi optimum (Parkin and Owen, 1986).

3.2. Proses Aklimatisasi

Sampai hari ke enam belum terjadi produksi biogas dan pH mengalami penurunan dari 7,0 pada hari pertama menjadi 5,8 dari hari ke sembilan pada kedua *digester* (Gambar 2).



Gambar 2. Volume biogas dan pH proses aklimatisasi.

Fase awal, pembentukan gas belum terjadi dan diikuti dengan penurunan pH karena proses hidrolisis berlangsung sangat lambat dan secara umum merupakan pembatas laju reaksi keseluruhan dari proses degradasi anaerobik (Taherzadeh and Karimi 2008).

Biogas mulai terbentuk pada hari ke 7 dan berkelanjutan hingga hari ke 38 Nilai pH mulai mengalami peningkatan pada hari ke

10. Biodegradasi anaerobik dapat berjalan dengan baik pada rentang pH 6,1 – 8,3 (Kim *et al.*, 2014; Kawaroe *et al.*, 2015a). Pada hari ke 13, pH *digester* 6,8 dan pada hari tersebut juga dilakukan penambahan substrat *Gracilaria* sp. yang bertujuan agar bakteri dapat beradaptasi dengan substrat yang baru. Penambahan substrat *Gracilaria* sp. sebesar 0,161 L dilakukan sampai hari ke 38.

Hari ke 14 terjadi peningkatan volume biogas sampai pada hari ke 38. Biogas yang dihasilkan dari 4,025 L substrat *Gracilaria* sp. selama proses aklimatisasi sebesar 64,5 L dengan rentang pH 6,2 – 7,1. pH slurry yang sudah mencapai 7,1 menunjukkan proses aklimatisasi dapat berlangsung dengan baik.

3.3. Pencernaan Anaerobik Metode *Batch*

Proses aklimatisasi yang telah dilakukan selama 38 hari telah menunjukkan bahwa substrat dari *Gracilaria* sp. dapat terdegradasi dengan baik sehingga menghasilkan biogas. Tahap selanjutnya adalah pencernaan anaerobik secara *batch* dengan tujuan untuk melihat potensi biogas yang dihasilkan dari *Gracilaria* sp. Proses *batch* ini merupakan lanjutan dari proses aklimatisasi namun *slurry* pada *digester* dikeluarkan setengah kemudian dicampurkan dengan substrat *Gracilaria* sp. dan sebagai awal dalam perhitungan biogas. Grafik volume biogas yang dihasilkan *Gracilaria* sp. terus mengalami kenaikan sampai hari ke 85. Pada hari ke 85 laju kenaikan volume biogas mulai berkurang dan cenderung konstan sampai hari ke 106.

Grafik volume biogas metana terus mengalami kenaikan sampai hari ke 85 dan cenderung konstan sampai hari ke 106 (Gambar3). Hal ini karena substrat yang terdegradasi oleh bakteri semakin lama akan semakin berkurang dan habis (Gerardi, 2003; Kawaroe *et al.*, 2015b). Volume biogas total dan volume biogas metana yang dihasilkan *Gracilaria* sp sebesar 131,1 L dan 46,7 L. Karbohidrat yang tinggi dan lignin yang

rendah dapat menghasilkan biogas yang optimal.

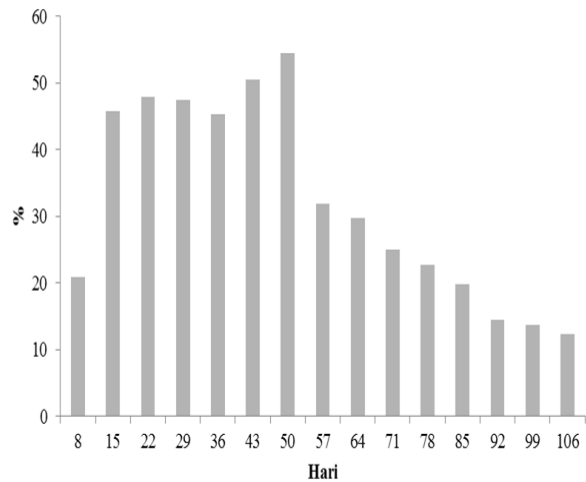
Grafik pH cenderung naik dan turun dari hari ke 1 sampai hari 71 dan selanjutnya konstan sampai hari ke 106 (Gambar 3). Fluktuasi nilai pH menunjukkan sedang terjadi proses pencernaan bahan organik, sedangkan pH mulai konstan karena substrat yang semakin berkurang dan habis, sehingga proses pencernaan tidak terjadi. Rentang pH pada *digester Gracilaria* sp. 6,4 – 7,7 dan termasuk dalam rentang pH optimal dimana pencernaan anaerobik dapat berjalan dengan baik pada pH 6,1 – 8,3 (Kim *et al.*, 2014).



Gambar 3. Volume biogas dan pH *Gracilaria* sp. batch.

3.4. Konsentrasi Metana (CH₄)

Konsentrasi metana pada *Gracilaria* sp. mengalami peningkatan dari hari ke 8 sampai hari ke 50 dan kemudian menurun sampai hari 106 (Gambar 4). Hal ini karena substrat yang terdegradasi oleh bakteri semakin lama akan semakin berkurang dan habis sehingga menyebabkan konsentrasi metana semakin menurun. Konsentrasi metana tertinggi *Gracilaria* sp. pada hari ke 50 (54,427%), sedangkan konsentrasi metana terendah *Gracilaria* sp. pada hari ke 106 (12,398%), dan kisaran produksi penelitian sebelumnya berkisar 50 – 75 % (Bedoya *et al.*, 2009).

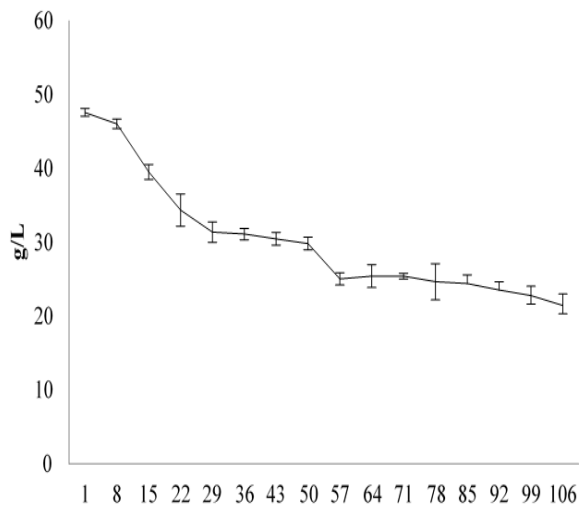


Gambar 4. Konsentrasi CH₄ (%) *Gracilaria* sp.

3.5. COD Total

Pencernaan anaerobik dapat dilihat dari adanya perubahan nilai COD. Grafik nilai COD mengalami penurunan dari hari ke 1 sampai hari ke 106 (Gambar 5) dimana COD *Gracilaria* sp. dari 47,5 g/L menjadi 21,4 g/L atau pengalihan (*removal*) COD sebesar 26,1 g/L. Penurunan nilai COD berkaitan dengan aktivitas bakteri dalam mengurai bahan-bahan organiki yang berasal dari substrat. Perhitungan teoritis menunjukkan bahwa degradasi 1 kg COD secara sempurna dapat menghasilkan 0,35 m³ CH₄ (Michaud *et al.*, 2002) dan hasil hitungan menunjukkan bahwa 1 kg *Gracilaria* sp. dapat menghasilkan 27,4 L CH₄. Hasil percobaan menunjukkan bahwa 1 kg *Gracilaria* sp. dapat menghasilkan 11,6 L CH₄.

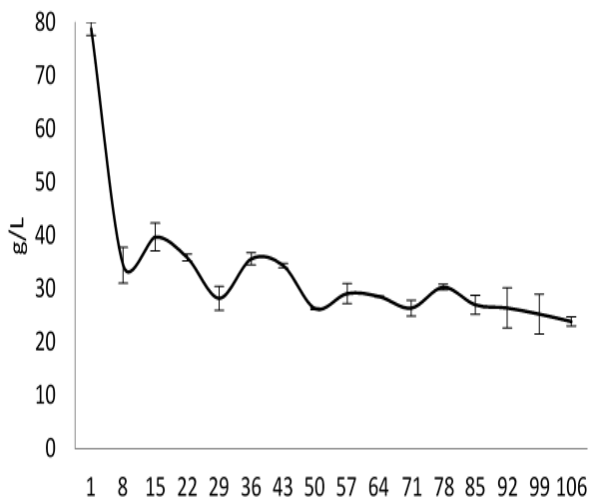
Jadi Potensi metana yang dimiliki dari 1 kg *Gracilaria* sp. sebesar 0,011 – 0,027 m³. 1 m³ biogas setara dengan 0,46 kg LPG, 0,62 L minyak tanah, 3,5 kg kayu bakar dan 1,25 kWh energi listrik sehingga dalam penggunaannya dapat dimanfaatkan untuk penerangan lampu 60 - 100 Watt selama 6 jam, memasak 3 jenis makanan untuk 5 – 6 orang dan dapat menjalankan satu motor tenaga kuda selama 2 jam (Fadli *et al.*, 2013, Kristoferson and Bokalders, 2013).



Gambar 5. COD total *Gracilaria* sp. dalam digester.

3.6. Volatil Solid

Volatil solid memiliki hubungan dengan jumlah mikroorganisme (Parkin and Owen 1986). Grafik partikel menguap menunjukkan nilai cukup tinggi pada hari ke 1 (Gambar 6). Hal ini dikarenakan pemasukan substrat dalam jumlah besar pada awal metode *batch* membuat bahan organik banyak tersedia sehingga mikroorganisme juga ikut bertambah. Kemudian terjadi penurunan jumlah volatil solid sampai hari ke 106 yaitu dari 78,7 g/L menjadi 23,8 g/L karena substrat yang didegradasi oleh bakteri semakin berkurang.



Gambar 6. Volatil solid *Gracilaria* sp.

IV. KESIMPULAN

Karakteristik *Gracilaria* sp. berupa karbohidrat yang cukup tinggi yaitu ($65,46 \pm 0,58\%$), kadar lignin yg rendah ($13,20 \pm 2,23\%$), C/N ratio yang optimal (29,82), membuat *Gracilaria* sp. memiliki potensi sebagai substrat biogas untuk energi baru terbarukan. Proses aklimatisasi berjalan dengan lancar dan biogas yang dihasilkan dari 4,025 L substrat *Gracilaria* sp. adalah sebesar 64,5 L dengan rentang pH 6,2 – 7,1. Proses pencernaan anaerobik menggunakan metode *batch* didapatkan bahwa dari 4 kg *Gracilaria* sp. dapat menghasilkan biogas sebanyak 131,1 L dengan kandungan metana sebanyak 46,7 L atau 11,6 L CH₄/kg. *Gracilaria* sp. memiliki potensi yang baik untuk dijadikan sebagai substrat tambahan bersama kotoran sapi dalam menghasilkan biogas

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penjamin Dana Pendidikan/LPDP Kementerian Keuangan Republik Indonesia dengan nomor kontrak PJR-796 / LPDP/2013 yang secara finansial mendanai penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Association of Official Analytical Chemists. 2005. Official methods of analysis 18th ed. Association of official analytical chemists inc. Washington. 1899p.
- American Public Health Association. 1998. Standar methods for the examination of water and wastewater 20th ed. Victor Graphics Inc. Baltimore. 1220p.
- Bedoya, I.D., A.A. Arrieta, and F.J. Cadavid. 2009. Effects of mixing system and pilot fuel quality on diesel-biogas

- dual fuel engine performance. *Biore-source Technology*, 100: 6624-6629.
- Briand, X. and P. Morand. 1997. Anaerobic digestion of *Ulva* sp. 1. Relationship between *Ulva* composition and methanisation. *Applied Phycology*, 9:511-524.
- Costa, J.C., P.R. Gonçalves, A. Nobreand, and M.M. Alves. 2012. Biomethana-tion potential of macroalgae *Ulva* spp. and *Gracilaria* spp. and in co-digestion with waste activated sludge. *Biore-source technology*, 114:320-326.
- Fadli, D., M. Irsyad, and M.D. Susila. 2013. Kaji eksperimental sistem penyimpanan biogas dengan metode pengkompresian dan pendinginan pada tabung gas sebagai bahan bakar pengganti gas LPG. *J. Ilmiah Teknik Mesin*, 1:42-48.
- Gerardi, M.H. 2003. The microbiology of anaerobic digesters. John Wiley and Sons. New Jersey. 177p.
- Habig, C., T.A. DeBusk, and J.H. Ryther. 1984. The effect of nitrogen content on methane production by the marine algae *Gracilaria tikvahiae* and *Ulva* sp. *Biomass*, 4:239-251.
- Hanisak, M.D. 1981. Methane production from the red seaweed *Gracilaria tikvahiae*. Proceeding of the International Seaweed Symposium 681-686pp.
- Horn, S.J. 2000. Bioenergy from brown seaweeds. Thesis. Norwegian University of Science and Technology NTNU.Trondheim. 83p.
- Kalia, V., V. Sonakya, and N. Raizada. 2000. Anaerobic digestion of banana stem waste. *Biore-source Technology*, 73: 191-193.
- Kawaroe, M., J. Santoso, and T.D. Oktiana. 2015. Semi continues system to produce biogas from macroalga *Gracilaria verrucosa*. *Int. J. Ocea.*, 9:143-152.
- Kawaroe, M., Augustin, D, Sunuddin, A, Sofyan, F. 2015. Anaerobic Biodegra-dation using macroalgae *Eucheuma cottonii* to produce bio-methane. *Int. J Appl Eng Res.*, 10: 35559-35566.
- Kim, J., H. Jung, and C. Lee. 2014. Shifts in bacterial and archaeal community structures during the batch biometha-nation of *Ulva* biomass under mesophilic conditions. *Biore-source technology*, 169:502-509.
- Kristoferson, L.A. and V. Bokalders. 2013. Renewable energy technologies: their applications in developing countries. Pergamon Press. England. 338p.
- McDermid, K.J. and B. Stuercke. 2003. Nutritional composition of edible Hawaiian seaweeds. *J. of Applied Phycology*, 15:513-524.
- Michaud, S., N. Bernet, P. Buffière, M. Roustan, and R. Moletta. 2002. Methane yield as a monitoring parameter for the start up of anaerobic fixed film reactors. *Water Research*, 36:1385-1391.
- Norziah, M.H. and C.Y. Ching. 2000. Nutritional composition of edible seaweed *Gracilaria changgi*. *Food Chemistry*, 68:69-76.
- Parkin, G.F. and W.F. Owen. 1986. Fundamentals of anaerobic digestion of wastewater sludges. *J. of Environmental Engineering*, 112:867-920.
- Pfeffer, J.T. and K.A. Khan. 1976. Microbial production of methane from municipal refuse. *Biotechnology and Bioengineering*, 18:1179-1191.
- Rusdi, M., Musbir, dan Jusni. 2013. Penerapan Sistem Agribisnis Pada Usaha Budidaya Rumput Laut (*Eucheuma* sp.). Universitas Muhammadiyah Makassar. 15p.
- Taherzadeh, M.J. and K. Karimi. 2008. Pretreatment of lignocellulosic wastes to improve ethanol and biogas production: a review. *International J. of molecular sciences*, 9:1621-1651.
- Van Soest, P.U. and R. Wine. 1967. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. IV. Determination of plant cell-

- wall constituents. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.*, 50:50-55.
- Walkley, A. and I.A. Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil science*, 37:29-38.
- Yoza, B.A. and E.M. Masutani. 2013. The analysis of macroalgae biomass found around Hawaii for bioethanol production. *Environmental technology*, 34: 1859-1867.
- Diterima* : 11 Mei 2016
Direview : 14 Juni 2016
Disetujui : 22 Desember 2016

