



Biodegradasi Anaerobik Makroalga *Ulva* sp. untuk Menghasilkan Biogas dengan Metode *Batch*

Anaerobic Biodegradation of Macroalgae *Ulva* sp. for Biogas Production with Batch Method

Krisye¹, Mujizat Kawaroe² & Udin Hasanudin³

¹Program Studi Ilmu Kelautan, IPB ²Dep. Ilmu dan Teknologi Kelautan, IPB

³Dep. Teknologi Hasil Pertanian, Universitas Lampung

Email : krisye.777@gmail.com

Submitted 3 December 2014. Reviewed 20 February 2016. Accepted 22 April 2016.

Abstrak

Kandungan karbohidrat yang tinggi dan lignin yang rendah dari makroalga *Ulva* sp. merupakan keunggulannya sebagai substrat untuk memproduksi biogas. Biogas dapat dihasilkan melalui proses biodegradasi anaerobik menggunakan metode *batch*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi biogas dan gas metana (CH₄) yang dihasilkan *Ulva* sp. dalam sistem *batch*. Penelitian dilaksanakan dari bulan Desember 2013 sampai Juli 2014 di Laboratorium Pusat Penelitian Surfaktan dan Bioenergi Institut Pertanian Bogor, Laboratorium Pengujian Departemen Teknologi Industri Pertanian IPB dan Laboratorium Pengelolaan Limbah Agroindustri Universitas Lampung. Penelitian ini diawali dengan analisis proksimat, kemudian pembuatan *starter* dari kotoran sapi, dilanjutkan dengan aklimatisasi dan proses biodegradasi anaerobik yang menggunakan metode *batch*. Hasil dianalisis menggunakan program statistik SPSS 17. Hasil analisis proksimat menunjukkan bahwa *Ulva* sp. memiliki kadar air 16,7%, kadar abu 14,9%, lemak 2,9%, karbohidrat 60,3%, protein 5,3%, lignin 4,6%, *Total Organic Carbon* (TOC) 26,1%, dan Nitrogen 1,3% serta rasio C/N 20,5. Setelah proses aklimatisasi, biogas yang dihasilkan dari 8,8 L biomassa *Ulva* sp. sebesar 70,9 L dengan rentang pH 6,3–7,1 sedangkan pada proses biodegradasi anaerobik metode *batch* dari 4 kg *Ulva* sp. dihasilkan biogas sebesar 153,9 L dengan kandungan metana 51,1 L. Berdasarkan hasil penelitian ini diketahui bahwa setiap kg *Ulva* sp. berpotensi menghasilkan biogas sebesar 38,5 L dengan kandungan metana 12,8 L. Hubungan antara COD dan volume gas metana yang terakumulasi yaitu -0,971.

Kata kunci: biodegradasi anaerobik, metode *batch*, biogas, metana, *Ulva* sp.

Abstract

High carbohydrate and low lignin content of macroalgae *Ulva* sp. constitute their advantages as a potential substrate for biogas production. Biogas was generated through anaerobic biodegradation process using batch method. This study aimed to determine the potential of biogas and methane produced by *Ulva* sp. in a batch system. The research was conducted from December 2013 to July 2014 in the Laboratory of Surfactant and Bioenergy Research Centre (SBRC) of Bogor Agricultural Institute, Testing Laboratory of Agroindustry Technology Department of Bogor Agricultural Institute; and Agroindustrial Waste Management Laboratory of University of Lampung. The study started with proximate analysis, followed by manufacturing of cow dung starter, acclimatization process, and anaerobic biodegradation using the batch

method. The result was analyzed using statistical program SPSS 17. Proximate analysis of *Ulva* sp. resulted in water content 16,7% , ash 14,9%, fat 2,9%, carbohydrates 60,3%, protein 5,3%, lignin 4,6%, total organic carbon 26,1%, nitrogen 1,3%, and C/N ratio 20,5. After acclimatization process, the biogas produced from 8.8 L of *Ulva* sp. biomass was 70.9 L with the pH ranged from 6.3 to 7.1, while anaerobic biodegradation process using batch method produced 153.9 L biogas with methane content of 51.1 L from 4 kg of *Ulva* sp. From this research it is found that each kg of *Ulva* sp. is potential to produce 38.5 L of biogas with the methane content of 12.8 L. The correlation between COD and accumulated CH₄ was -0,971.

Keywords: anaerobic biodegradation, batch method, biogas, methane, *Ulva* sp.

Pendahuluan

Ulva sp. merupakan makroalga yang umum ditemukan di perairan laut Indonesia, khususnya di substrat berpasir dan berbatu. Makroalga *Ulva* sp. merupakan produsen bagi organisme herbivora, selain dapat menunjang kebutuhan hidup manusia sebagai bahan pangan dan industri (Trono et al., 1988). *Ulva* sp. diketahui dapat dimanfaatkan sebagai penghasil biogas, seperti yang dilaporkan Matsui et al. (2006), Peu et al. (2011), Costa et al. (2012), Sitompul et al. (2012), Vanegas & Bartlett (2013), dan Kim et al. (2014).

Di Indonesia, *Ulva* sp. belum dimanfaatkan sebagai suatu substrat yang berguna, sehingga di beberapa daerah pada waktu panen banyak yang ditemukan membusuk di sekitar pesisir. Dengan kandungan karbohidrat yang tinggi dan lignin yang rendah, *Ulva* sp. dapat dijadikan sebagai substrat untuk menghasilkan biogas.

Biogas dapat dihasilkan melalui proses biodegradasi secara anaerobik yang merupakan proses fermentasi oleh bakteri metana (*Methanobacterium*). Komposisi biogas yang dihasilkan terdiri dari 50–75% metana (CH₄), 25–50% karbondioksida (CO₂), dan gas lain dalam jumlah kecil (Huang & Crookes, 1998; Karellas et al., 2010).

Lignin merupakan salah satu faktor yang berpengaruh besar dalam proses biodegradasi. Lignin adalah polimer berstruktur heterogen dan kompleks yang menyelimuti karbohidrat pada tumbuhan yang dapat menghambat enzim ligninase dari bakteri seperti *Pseudomonas* sp. untuk mendegradasinya (Briand & Morand, 1997). Tumbuhan darat seperti batang pisang memiliki kadar lignin sebesar 15–20%, sedangkan tumbuhan laut seperti makroalga *Ulva reticulata* memiliki kadar lignin lebih rendah (13%) (Kalia et al., 2000; Yoza & Masutani, 2013). Selain itu, makroalga juga memiliki kandungan karbohidrat yang tinggi, yaitu sebesar 4–83% berupa selulosa yang dapat terurai oleh bakteri (Ventura & Castañón, 1998; McDermid & Stuercke, 2003; Sanger, 2010), sehingga berpotensi untuk

dimanfaatkan dalam produksi biogas melalui proses biodegradasi secara anaerobik.

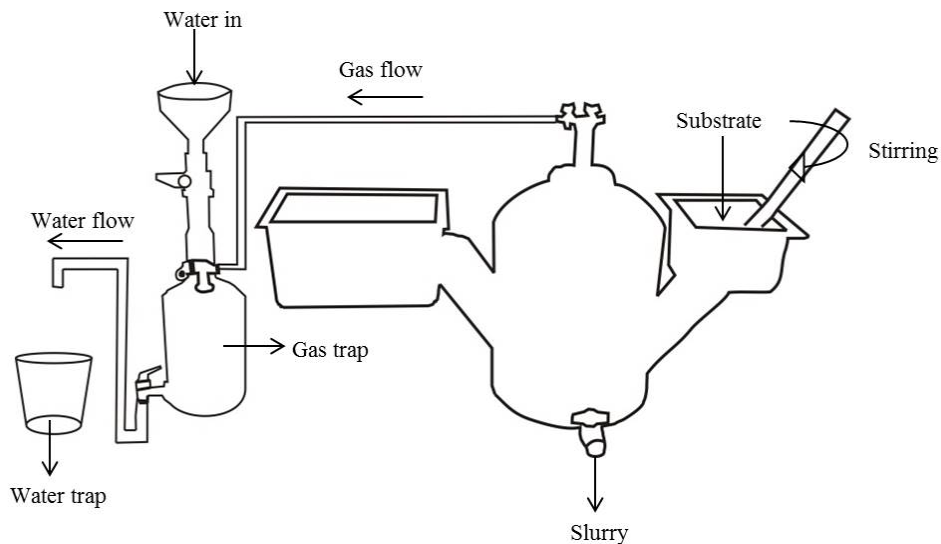
Pada umumnya, biodegradasi anaerobik untuk menghasilkan biogas menggunakan metode semi-kontinu dan *batch*. Perbedaan antara metode semi-kontinu dan *batch* adalah dalam hal pemasukan substrat. Pada metode semi-kontinu, substrat dimasukkan setiap hari atau periode tertentu, sehingga dapat diketahui seberapa banyak substrat yang perlu dimasukkan 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 diketahui jumlah biogas dan waktu yang diperlukan untuk menghasilkan biogas dari substrat tersebut (Oetomo & Soehartanto, 2013).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi *Ulva* sp. dalam menghasilkan biogas dan metana dengan metode *batch*. Penelitian ini diharapkan dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan potensi keenergian tumbuhan laut, khususnya makroalga *Ulva* sp. sebagai sumber energi baru terbarukan dalam bentuk biogas yang dapat diterapkan di kawasan pesisir dan pulau-pulau kecil.

Metodologi

Penelitian dilaksanakan dari bulan Desember 2013 sampai Juli 2014 di Laboratorium Pusat Penelitian Surfaktan dan Bioenergi Institut Pertanian Bogor, Laboratorium Pengujian Departemen Teknologi Industri Pertanian IPB, dan Laboratorium Pengelolaan Limbah Agroindustri Universitas Lampung.

Penelitian ini menggunakan *digester* berukuran 30 L yang ditambahkan alat untuk mengukur volume dan mengambil sampel biogas (Gambar 1). *Starter* dan substrat *Ulva* sp. dimasukkan ke dalam *digester*, kemudian diaduk agar substrat bercampur dengan *starter* yang



Gambar 1. Skema *digester* untuk menghasilkan biogas dengan biodegradasi anaerobik *Ulva* sp.
Figure 1. Digester scheme to produce biogas with anaerobic biodegradation of *Ulva* sp.

mengandung bakteri pendegradasi. Substrat yang telah bercampur dengan *starter* ini disebut *slurry*. Untuk pengukuran pH dan COD, *slurry* dikeluarkan dari *digester*. Biogas yang dihasilkan akan mengalir dari *digester* ke penampung gas (*gas trap*) yang sudah berisi air. Jika ada aliran biogas dari *digester*, air akan mengalir ke penampung air. Volume biogas yang dihasilkan akan diketahui berdasarkan volume air yang tertampung di penampung air. Biogas yang berada di penampung gas diambil untuk dianalisis konsentrasi metananya. Substrat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Ulva* sp. yang diperoleh dari Banten dan *starter* berupa kotoran sapi yang diperoleh dari kandang sapi di Institut Pertanian Bogor.

Analisis Proksimat Kandungan Kimia *Ulva* sp.

Biomassa *Ulva* sp. dibersihkan dari kotoran dan pasir, setelah itu dikeringkan dengan cahaya matahari selama 1 hari. Sampel kering digunakan untuk menganalisis proksimat (AOAC, 2005), lignin (Van Soest & Wine, 1967) dan *Total Organic Carbon* (TOC) (Walkley & Black, 1934).

Pembuatan Substrat *Ulva* sp.

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

Pembuatan *Starter* dan Proses Aklimatisasi

Starter merupakan hasil saringan campuran kotoran sapi dan akuades (1:1). Sebanyak 24 L (volume kerja) *starter* dimasukkan ke dalam *digester* yang berukuran 30 L, sedangkan ruang udara sebesar 6 L yang tersisa dalam *digester* disiapkan sebagai ruang untuk produksi biogas. Setelah itu, dibiarkan selama beberapa hari sampai nilai pH netral dan menghasilkan biogas. Selanjutnya, setiap hari substrat *Ulva* sp. ditambahkan sebesar 0,353 L untuk aklimatisasi, kemudian diikuti dengan pengeluaran *slurry* dari *digester* dengan jumlah volume yang sama. Hal ini terus dilakukan sampai pH mendekati netral dan stabil. Substrat *Ulva* sp. sebanyak 0,353 L didapatkan dari hasil penghitungan laju pembebanan 0,5 kg (COD)/(L.hari) dikali volume kerja dan dibagi dengan nilai *Chemical Oxygen Demand* (COD) *Ulva* sp. Selama proses pembuatan *starter* dan aklimatisasi, pengadukan, pengukuran pH dan volume biogas dilakukan setiap hari.

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 *Ulva* sp. sebanyak 12 L (4 kg *Ulva* 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.

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 hari.

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).

Analisis Statistik

Program Statistik SPSS 17 digunakan untuk mengetahui korelasi antara COD dan volume gas metana (CH₄) yang terakumulasi.

Hasil

Kadar Proksimat *Ulva* sp.

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

Kadar air *Ulva* sp. yang telah dikeringkan dengan sinar matahari adalah sebesar 16,73%. Kadar abu pada *Ulva* sp. sebesar 14,86% dan merupakan zat anorganik (mineral) sisa hasil pembakaran makroalga. Menurut Tabarsa et al. (2012), abu pada *Ulva lactuca* terdiri dari beberapa mineral utama seperti kalium, natrium, dan kalsium.

Ulva sp. memiliki kadar karbohidrat paling tinggi (60,29%) dibandingkan lemak dan protein (2,86% dan 5,26%). Biomassa tanaman laut, khususnya makroalga memiliki kandungan karbohidrat sebesar 4–83% (McDermid & Stuercke, 2003; Sanger, 2010).

Penelitian ini mendapatkan bahwa *Ulva* sp. memiliki kadar lignin yg rendah, yaitu sebesar 4,57%. Kadar lignin *Ulva* sp. jauh lebih rendah dibandingkan dengan tumbuhan darat seperti batang pisang yang memiliki kadar lignin sebesar 15–20% (Kalia et al., 2000).

Rasio C/N pada *Ulva* sp. yaitu 20,46. Rasio C/N yang optimum untuk biodegradasi berkisar 20–30 (Dioha et al., 2013).

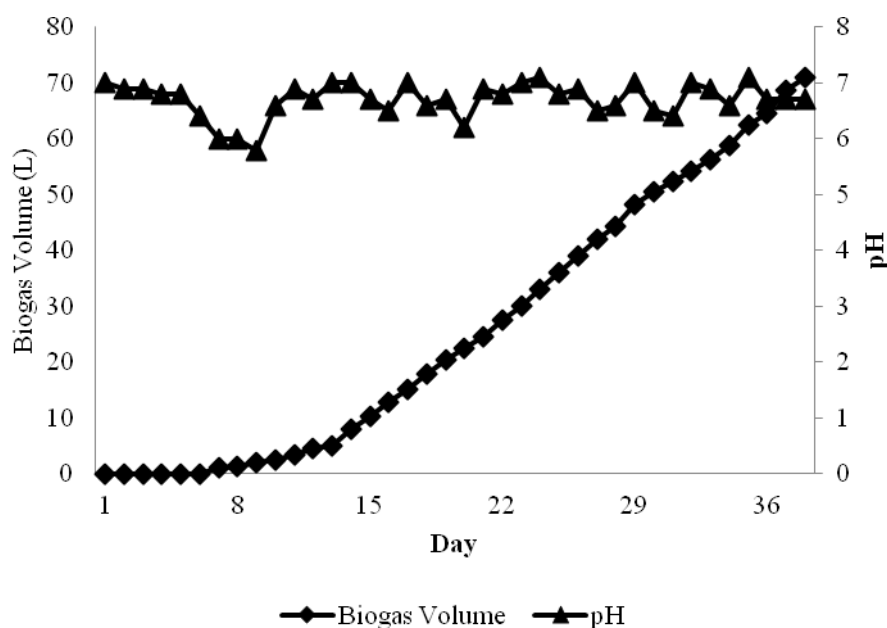
Aklimatisasi

Sampai hari ke-6 dalam proses aklimatisasi, produksi biogas belum terjadi dan pH mengalami penurunan dari 7,0 menjadi 5,8 sejak hari pertama sampai hari ke-9 (Gambar 2). Biogas mulai terbentuk pada hari ke-7 dan terus menghasilkan biogas pada hari-hari berikutnya.

Tabel 1. Kadar proksimat *Ulva* sp. berdasarkan berat kering.
Table 1. Proximate level of *Ulva* sp. based on dry weight.

Proximate Level (%)	
Water	16.73±0.86
Ash	14.86±2.01
Fat	2.86±0.51
Carbohydrates *	60.29
Protein	5.26±0.04
Lignin	4.57±0.03
Total Organic Carbon	26.09±0.35
Nitrogen	1.28±0.01
C/N ratio	20.46

* by difference (100% - (% water + % ash + % fat + % protein))



Gambar 2. Volume biogas dan pH *Ulva* sp. selama aklimatisasi.
Figure 2. Biogas volume and pH of *Ulva* sp. during acclimatization.

Sementara itu, nilai pH juga mengalami peningkatan pada hari ke-10 menjadi 6,6. Pada hari ke-13, *starter* mencapai pH 7,0 dan ini menunjukkan bahwa bakteri telah beradaptasi dengan *digester*. Oleh sebab itu, pada hari ke-13 dilakukan penambahan substrat *Ulva* sp. yang bertujuan agar bakteri dapat beradaptasi dengan substrat yang baru. Penambahan substrat *Ulva* sp. sebesar 0,353 L dilakukan sampai hari ke-38. Mulai hari ke-14 terjadi peningkatan volume biogas yang berlangsung sampai hari ke-38 (Gambar 2). Biogas yang dihasilkan dari 8,8 L substrat *Ulva* sp. selama proses aklimatisasi sebesar 70,9 L dengan rentang pH 6,3–7,1.

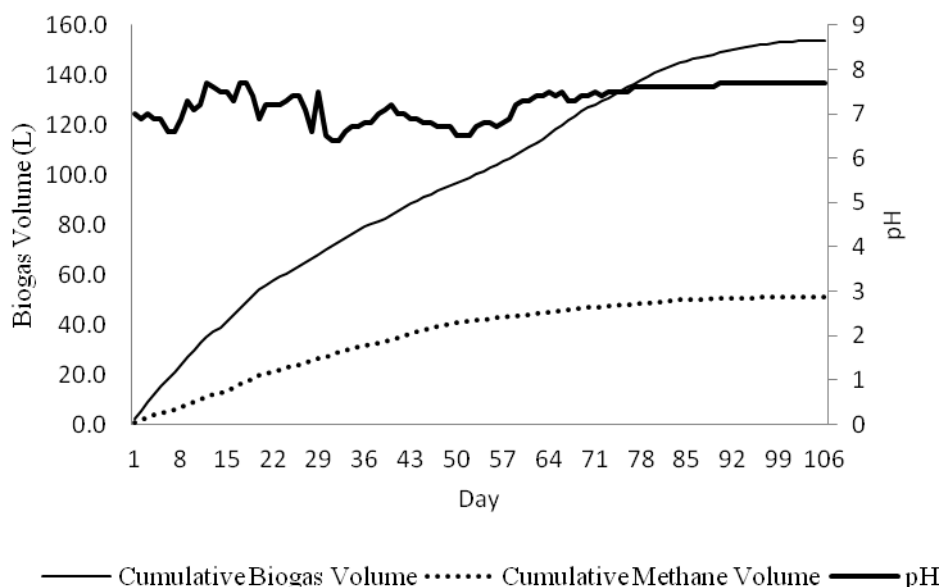
Biodegradasi Anaerobik dengan Metode *Batch*

Pada proses biodegradasi anaerobik dengan metode *batch*, volume biogas yang dihasilkan oleh *Ulva* sp. terus mengalami kenaikan sampai hari ke-85 (Gambar 3). Sejak hari ke-85, volume biogas mulai berkurang kenaikannya dan cenderung konstan sampai hari ke-106. Begitu juga dengan grafik volume gas metana yang terus mengalami kenaikan sampai hari ke-85, lalu cenderung konstan sampai hari ke-106 (Gambar 3). Hal ini dikarenakan substrat yang terdegradasi oleh bakteri semakin lama semakin berkurang dan akhirnya habis, sehingga produksi biogas juga akan semakin menurun (Gerardi, 2003).

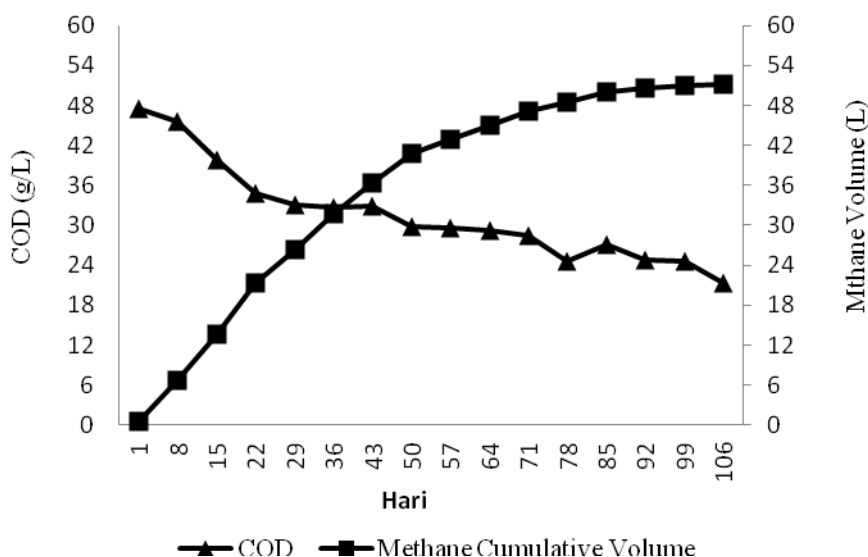
Volume biogas kumulatif dan volume gas metana kumulatif yang dihasilkan dari 4 kg *Ulva* sp. masing-masing sebesar 153,9 L dan 51,1 L. Grafik pH mengalami fluktuasi dari hari ke-1 sampai hari ke-71, tetapi selanjutnya konstan sampai hari ke-106 (Gambar 3). pH yang berfluktuasi ini menunjukkan bahwa proses biodegradasi bahan organik sedang berlangsung, sedangkan pH yang konstan menunjukkan bahwa proses biodegradasi semakin lambat karena substrat yang semakin berkurang dan akhirnya habis (Gerardi, 2003). Rentang pH pada *Ulva* sp. berkisar 6,4–7,7 dan termasuk dalam kisaran normal.

Profil COD

Nilai COD mengalami penurunan dari hari ke-1 (47,5 g/L) sampai hari ke-106 (21,4 g/L) (Gambar 4) atau COD yang tersisihkan sebesar 26,1 g/L. Berbeda dari COD, volume gas metana kumulatif mengalami peningkatan dari hari ke-1 sampai ke-106. Dari 4 kg *Ulva* sp. dihasilkan metana 51,1 L. Berdasarkan uji analisis korelasi didapatkan bahwa ada korelasi negatif (-0,971) (Tabel 2), yang berarti semakin turun nilai COD, maka volume gas CH₄ kumulatif akan semakin meningkat.



Gambar 3. Volume biogas dan pH *Ulva* sp. batch.
 Figure 3. Biogas volume and pH of *Ulva* sp. batch.



Gambar 4. COD dan volume gas metana *Ulva* sp.
 Figure 4. COD and methane volume of *Ulva* sp.

Tabel 2. Hasil korelasi antara COD dengan gas metana (CH₄) menggunakan SPSS 17.
 Table 2. Result of correlation between COD with methane gas (CH₄) using SPSS 17.

Correlation			
		COD	CH ₄
COD	Pearson correlation	1.000	-.971*
	Sig. (2-tailed)		0.000
	N	16.000	16
CH ₄	Pearson Correlation	-.971*	1.000
	Sig. (2-tailed)	0.000	
	N	16	16.000

Note: * Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Pembahasan

Berdasarkan data analisis proksimat, dapat dilihat bahwa kadar air sebesar 16,73% yang dimiliki *Ulva* sp. dapat membantu aktivitas bakteri pendegradasi untuk meningkatkan produksi biogas (Saputro et al., 2009). Lemak, karbohidrat, dan protein pada makroalga merupakan kandungan organik yang dapat dihidrolisis oleh mikroorganisme. *Ulva* sp. yang memiliki kandungan karbohidrat yang cukup tinggi (60,29%) dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan biogas. Kadar lignin yang rendah pada *Ulva* sp. (4,57%) membantu proses biodegradasi agar berjalan dengan mudah. Kadar lignin sebesar 15% sudah dapat menghambat proses biodegradasi (Pfeffer & Khan, 1976). Rasio C/N pada *Ulva* sp. sebesar 20,46, masuk dalam kisaran yang optimum untuk biodegradasi (20 – 30) (Dioha et al., 2013). Rasio C/N yang rendah (kandungan unsur N yang tinggi) akan meningkatkan emisi dari nitrogen sebagai amonium yang dapat menghalangi perkembangbiakan bakteri. Rasio C/N yang tinggi (kandungan unsur N yang rendah) akan menyebabkan proses degradasi berlangsung lebih lambat karena nitrogen akan menjadi faktor penghambat (*growth-rate limiting factor*) (Ristiati, 2014).

Biogas yang dihasilkan dari 8,8 L substrat *Ulva* sp. selama proses aklimatisasi sebesar 70,9 L dengan rentang pH 6,3–7,1. Waktu yang diperlukan untuk proses aklimatisasi adalah 38 hari. Hal ini karena selama 38 hari biogas terus dihasilkan oleh *Ulva* sp. dan pH berada dalam kisaran normal selama proses biodegradasi. pH merupakan pembatas laju reaksi keseluruhan dari proses degradasi anaerobik (Taherzadeh & Karimi, 2008). Menurut Igoni et al. (2008), biodegradasi anaerobik dapat berjalan dengan baik pada rentang pH 6–8.

Volume biogas kumulatif dan volume gas metana kumulatif yang dihasilkan dari 4 kg *Ulva* sp. masing-masing sebesar 153,9 L dan 51,1 L. Penelitian ini mendapatkan bahwa biogas yang dihasilkan oleh *Ulva* sp. cukup tinggi. Menurut Sitompul et al. (2012), biogas yang dihasilkan *Ulva* sp. lebih tinggi dibandingkan tanaman darat karena *Ulva* sp. memiliki kadar lignin yang rendah (4,57%). Selain itu, *Ulva* sp. merupakan makroalga hijau yang memiliki kandungan polisakarida yang mudah terdegradasi, yaitu amilum dan selulosa (Ventura & Castañón, 1998).

Berdasarkan hasil percobaan menggunakan 4 kg *Ulva* sp. diketahui bahwa potensi biogas yang diproduksi dari 1 kg *Ulva* sp. sebesar 38,5 L dengan kandungan metana sebesar 12,8 L.

Menurut Widyastuti & Purwanto (2013), potensi biogas yang dihasilkan dari 1 kg kotoran sapi sebesar 23–40 L. Hasil ini tidak jauh berbeda dari potensi biogas *Ulva* sp. Menurut Fadli et al. (2013) dan Kristoferson & Bokalders (2013), 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 dapat dimanfaatkan sebagai penerangan lampu 60–100 Watt selama 6 jam, memasak 3 jenis makanan untuk 5–6 orang atau dapat menjalankan satu motor bertenaga kuda selama 2 jam.

Biodegradasi anaerobik dapat dilihat dari adanya perubahan nilai COD (Nuradhisthana et al., 2012). Dari 4 kg *Ulva* sp. dihasilkan metana 51,1 L. Penurunan nilai COD berkaitan dengan aktivitas bakteri dalam mengurai bahan-bahan organik yang berasal dari substrat untuk menghasilkan produk akhir berupa gas CH₄.

Konsentrasi metana tertinggi pada penelitian ini adalah sebesar 54,7 %. Konsentrasi metana yang dihasilkan dari penelitian ini sesuai dengan hasil penelitian Huang & Crookes (1998), yaitu berkisar 50–75 %. Konsentrasi minimal metana agar dapat menghasilkan nyala api adalah 45% (Ihsan et al., 2013).

Kesimpulan

Kadar proksimat *Ulva* sp. berupa karbohidrat yang tinggi, lignin yang rendah, dan rasio C/N yang optimal merupakan kelebihan *Ulva* sp. untuk dijadikan substrat dalam menghasilkan biogas. Proses aklimatisasi membutuhkan waktu selama 38 hari untuk menghasilkan biogas sebesar 70,9 L dari 8,8 L substrat *Ulva* sp. Proses biodegradasi anaerobik *Ulva* sp. menggunakan metode *batch* dapat menghasilkan biogas 38,5 L/kg dengan kandungan metana sebesar 12,8 L/kg.

Persantunan

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Hasanuddin, Direktorat Jenderal DIKTI, Laboratorium Pusat Penelitian Surfaktan dan Bioenergi, Institut Pertanian Bogor, Laboratorium Pengelolaan Limbah Agroindustri, Universitas Lampung dan LPDP Kementerian Keuangan.

Daftar Pustaka

- AOAC. 2005. *Official Methods of Analysis 18th ed.* Association of Official Analytical Chemists Inc. Maryland (USA). 771 pp.
- APHA. 1998. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 20th ed.* Victor Graphics Inc. Baltimore (USA). 541 pp.
- Briand X & P Morand. 1997. Anaerobic digestion of *Ulva* sp. 1. Relationship between *Ulva* composition and methanisation. *Applied Phycology*, 9: 511–524.
- Costa J, P Gonçalves, A Nobre & M Alves. 2012. Biomethanation potential of macroalgae *Ulva* spp. and *Gracilaria* spp. and in co-digestion with waste activated sludge. *Bioresource technology*, 114: 320–326.
- Dioha I, C Ikeme, T Nafi'u, N Soba & M Yusuf. 2013. Effect of carbon to nitrogen ratio on biogas production. *International Research Journal of Natural Sciences*, 1: 1–10.
- Fadli D, M Irsyad & MD Susila. 2013. Kaji Eksperimental Sistem Penyimpanan Biogas dengan Metode Pengkompresian dan Pendinginan pada Tabung Gas sebagai Bahan Bakar Pengganti Gas LPG. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 1.
- Gerardi MH. 2003. *The microbiology of anaerobic digesters*, New Jersey (USA), John Wiley & Sons. 188 pp.
- Huang J & R Crookes. 1998. Assessment of simulated biogas as a fuel for the spark ignition engine. *Fuel*, 77: 1793–1801.
- Igoni A, M Ayotamuno, C Eze, S Ogaji & S Probert. 2008. Designs of anaerobic digesters for producing biogas from municipal solid-waste. *Applied energy*, 85: 430–438.
- Ihsan A, S Bahri & M Musafira. 2013. Produksi biogas menggunakan cairan isi rumen sapi dengan limbah cair tempe. *Online Journal of Natural Science FMIPA*, 2: 27–35.
- Kalia V, V Sonakya & N Raizada. 2000. Anaerobic digestion of banana stem waste. *Bioresource Technology*, 73: 191–193.
- Karellas S, I Boukis & G Kontopoulos. 2010. Development of an investment decision tool for biogas production from agricultural waste. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14: 1273–1282.
- Kim J, H Jung & C Lee. 2014. Shifts in bacterial and archaeal community structures during the batch biomethanation of *Ulva* biomass under mesophilic conditions. *Bioresource technology*, 169: 502–509.
- Kristoferson LA & V Bokalders. 2013. *Renewable energy technologies: their applications in developing countries*. Pergamon Press. Oxford (UK). 319 pp.
- Matsui J, T Amano, Y Koike, A Saiganji & H Saito. 2006. Methane fermentation of seaweed biomass. *American institute of chemical engineers*.
- McDermid KJ & B Stuercke. 2003. Nutritional composition of edible Hawaiian seaweeds. *Journal of Applied Phycology*, 15: 513–524.
- Nuradhisthana A, D Wirasanti & A Hadiyanto. 2012. Pengolahan Limbah Cair Laboratorium Mikrobiologi Industri Menggunakan Lumpur Aktif Aerobik dan Anaerobik. *Jurnal Teknologi Kimia Dan Industri*, 1: 40–45.
- Oetomo DP & T Soehartanto. 2013. Perancangan Sistem Pengukuran pH dan Temperatur pada Bioreaktor Anaerob Tipe Semi-Batch. *Jurnal Teknik ITS*, 2: F396–F401.
- Peu P, JF Sassi, R Girault, S Picard, P Saint-Cast, F Béline & P Dabert. 2011. Sulphur fate and anaerobic biodegradation potential during co-digestion of seaweed biomass (*Ulva* sp.) with pig slurry. *Bioresource technology*, 102: 10794–10802.
- Pfeffer JT & KA Khan. 1976. Microbial production of methane from municipal refuse. *Biotechnology and Bioengineering*, 18: 1179–1191.
- Ristiati NP. 2014. Pengembangan Briket Jerami Padi (*Oryza sativa*) yang Mengandung Isolat Bakteri Pendegradasi Minyak Bumi sebagai Upaya Mengatasi Pencemaran di Perairan Laut. *Jurnal Sains dan Teknologi*, 3: 324–333.
- Sanger G. 2010. Kandungan Fosfor Minuman Sari Rumput Laut (*Euclima cottonii*). *Pasific Journal*, 1: 792–795.
- Saputro RR, DA Putri & D Artanti. 2009. Pembuatan biogas dari limbah peternakan. Semarang (ID): Universitas Diponegoro.
- Sitompul JP, A Bayu, TH Soerawidjaja & HW Lee. 2012. Studies of Biogas Production from Green Seaweeds. *Environment and Bioenergy*, 3: 132–144.
- Tabarsa M, M Rezaei, Z Ramezanzpour & JR Waaland. 2012. Chemical compositions of the marine algae *Gracilaria salicornia* (Rhodophyta) and *Ulva lactuca* (Chlorophyta) as a potential food source. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92: 2500–2506.
- Taherzadeh MJ & K Karimi. 2008. Pretreatment of lignocellulosic wastes to improve ethanol and biogas production: a review. *International journal of molecular sciences*, 9: 1621–1651.
- Trono GC, M Valencia-Lumba & ET Ganzon-Fortes. 1988. *Philippine seaweeds*, National Book Store.

- van Soest PU & 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.
- Vanegas C & J Bartlett. 2013. Green energy from marine algae: biogas production and composition from the anaerobic digestion of Irish seaweed species. *Environmental technology*, 34: 2277–2283.
- Ventura M & J Castañón. 1998. The nutritive value of seaweed (*Ulva lactuca*) for goats. *Small Ruminant Research*, 29: 325–327.
- Walkley A & IA 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.
- Widyastuti FR & H Purwanto. 2013. Biogas Potential from the Treatment of Solid Waste of Dairy Cattle: Case Study at Bangka Botanical Garden Pangkalpinang. *International Journal of Waste Resources*, 3:1–4.
- Yoza BA & EM Masutani. 2013. The analysis of macroalgae biomass found around Hawaii for bioethanol production. *Environmental technology*, 34: 1859–1867.