

ALGA HIJAU (*Ulva* sp.) SEBAGAI BAHAN BAKU PRODUKSI BIOGAS

GREEN ALGAE *Ulva* sp. AS RAW MATERIAL FOR BIOGAS PRODUCTION

Tri Dian Oktiana^{1*}, Joko Santoso², dan Mujizat Kawaroe³

¹Program Studi Teknologi Hasil Perairan, Sekolah Pascasarjana, IPB, Bogor

*E-mail: Oktiana16@gmail.com

²Departemen Teknologi Hasil Perairan, FPIK-IPB, Bogor

³Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan, FPIK-IPB, Bogor

ABSTRACT

Ulva sp. is a non edible seaweed and posses a high growth rate. Therefore, this species is potential to be developed as a raw material for biogas production. One important factor on the biogas production is to determine organic loading rate (OLR). The aim of this study was to determine the potential of *Ulva* sp. as a raw material for biogas and to find out the optimum loading rate in the process of biogas production. Biogas production was carried out in the digester with a capacity of 22 l that was made of fiber and equipped with a manual stirrer and gas flow meter to measure gas production. Parameters analised were pH, COD, TSS, VSS, and gas composition. Organic loading rates used in this study were 0.5, 1, 1.5, and 2 kg COD.m⁻³.day⁻¹. The results showed that the optimum loading rate was 1.5 kg COD.m⁻³.day⁻¹. In the loading rate of 1.5 kg COD.m⁻³.day⁻¹, we obtained the highest biogas production rate of 12.14 l/day with methane content of 42.96%, average COD removal of 51.97%, and methane production of 0.33 l/g COD.

Keywords: anaerobic, biogas, COD, loading, methane, *Ulva* sp.

ABSTRAK

Ulva sp. merupakan rumput laut yang *nonedible* namun memiliki tingkat pertumbuhan yang tinggi dan tidak dikonsumsi sehingga *Ulva* sp. potensial untuk dikembangkan sebagai bahan baku produksi biogas. Salah satu faktor penting dalam produksi biogas adalah menentukan *Organic Loading Rate*/pembebanan organik yang optimum. Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan potensi *Ulva* sp. sebagai bahan baku pembuatan biogas dan untuk mendapatkan pembebanan organik yang optimum dalam proses produksi biogas. Parameter-parameter yang dianalisis adalah pH, COD, TSS, VSS, dan komposisi gas. Produksi biogas telah dilakukan di dalam digester berkapasitas 22 l yang dibuat dari bahan fiber dilengkapi pengaduk manual dan *gas flow meter* untuk mengukur gas yang dihasilkan. Beban yang digunakan pada penelitian ini yaitu 0,5; 1; 1,5; dan 2 kg COD.m⁻³.hari⁻¹. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pembebanan optimum adalah 1,5 kg COD.m⁻³.hari⁻¹. Pada kondisi pembebanan 1,5 kg COD.m⁻³.hari⁻¹ diperoleh laju produksi biogas yaitu 12,14 l/hari dengan kandungan metana sebesar 42,96%, rata-rata COD *removal* 51,97% dan produksi metana sebesar 0,33 l/g COD .

Kata kunci: anaerobik, biogas, COD, pembebanan, metana, *Ulva* sp.

I. PENDAHULUAN

Biogas adalah produk akhir dari konversi bahan organik melalui proses perombakan yaitu secara anaerob. Komposisi utama dari biogas adalah metana (55-65%), karbon dioksida (35-40%), hidrogen sulfida (>1%), sedikit gas lainnya dan uap air (Kapdi *et al.*, 2006). Saat ini sudah banyak pemanfaatan biogas dengan bahan baku berupa limbah pa-

dat atau cair agroindustri, limbah pertanian, dan kotoran ternak. Untuk pulau-pulau di Indonesia yang minim akses dan jauh dari tempat bahan baku maka akan sulit mengembangkan biogas dari limbah-limbah tersebut, terutama yaitu di daerah pesisir yang jauh dari agroindustri ataupun persawahan dan peternakan. Oleh karena itu, menjadikan rumput laut sebagai bahan baku dalam pembuatan biogas merupakan salah satu solusi untuk

menjadikan pulau-pulau kecil di Indonesia menjadi mandiri energi.

Rumput laut berpotensi untuk dikembangkan sebagai bahan baku biogas. Vivekanand *et al.* (2011) melaporkan bahwa perairan secara umum dapat menghasilkan 50% dari total biomasa di seluruh dunia. Rumput laut memiliki kandungan karbohidrat dan air yang tinggi serta rendah lignin dibandingkan dengan tumbuhan terestrial sehingga lebih mudah didegradasi (Sitompul *et al.*, 2013; Vivekanand *et al.*, 2011; Bruhn *et al.*, 2011). Selain itu, keuntungan memanfaatkan rumput laut sebagai bahan baku pembuatan biogas adalah rumput laut tidak membutuhkan lahan darat dan air tawar untuk budidaya sehingga tidak akan berkompetisi dengan budidaya tanaman pangan ataupun lahan pemukiman.

Beberapa peneliti di luar negeri melaporkan bahwa *Ulva sp.* dapat menghasilkan biogas (Hansson, 1983; Burhn *et al.*, 2011; Costa *et al.*, 2012). Penelitian mengenai potensi *Ulva sp.* di dalam negeri telah dilakukan Sitompul *et al.* (2013). Perkembangan penelitian mengenai potensi rumput laut sebagai bahan baku pembuatan biogas di dalam negeri masih sangat kurang, khususnya spesies *Ulva sp.* Spesies *Ulva sp.* sangat potensial untuk dikembangkan sebagai bahan baku biogas karena pertumbuhannya yang cepat (30%/hari) dan tidak dikonsumsi oleh manusia (Pendersen and Borum, 1996; Morand *et al.*, 2006).

Laju pembebanan organik ke dalam bioreaktor merupakan faktor yang penting dalam proses produksi biogas. Mengetahui pembebanan organik yang optimum dapat meningkatkan efisiensi proses biodegradasi. Proses biodegradasi dikatakan efisien jika biogas yang dihasilkan banyak atau jumlah biomasa yang terdegradasi/tercerna di dalam biodigester dalam jumlah yang maksimal. Pemberian beban organik yang tidak sesuai atau melebihi batas kemampuan reaktor akan menyebabkan proses yang tidak seimbang. Salah satu indikator proses tidak seimbang yaitu terjadinya penurunan pH yang signifikan, akibat akumulasi asam organik

volatil. Jika hal ini terus menerus terjadi, maka pH sistem akan menjadi asam dan menyebabkan terhambatnya pembentukan metana oleh bakteri *metanogen*. Selain itu laju pembebanan organik yang terlalu tinggi menyebabkan waktu tinggal hidrolis (WTH) menjadi singkat sehingga populasi mikroorganisme dapat tercuci (*washout*) (Deublein and Steinhauser, 2008). Penelitian ini bertujuan untuk menentuka mempelajari potensi *Ulva sp.* sebagai bahan baku pembuatan biogas dan mendapatkan kondisi pembebanan optimum dalam proses produksi biogas.

II. METODE PENELITIAN

2.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini telah dilaksanakan pada Bulan Desember 2013 sampai dengan Agustus 2014 di Laboratorium *Surfactant and Bioenergy Research Center* (SBRC) IPB dan Laboratorium Pengelolaan Limbah Agroindustri Universitas Lampung.

2.2. Bahan Baku

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah rumput laut *Ulva sp.* yang berasal dari perairan Wakatobi Sulawesi Tenggara. Rumput laut yang diperoleh dalam bentuk kering. Rumput laut *Ulva sp.* sebagai bahan utama produksi biogas dianalisis kandungan total nitrogen (AOAC, 2005), lignin (Van Soet, 1991), dan total organik karbon (Walkey and Black, 1934).

2.3. Pembuatan Substrat

Substrat dibuat dengan cara rumput laut kering direndam selama 2 jam untuk mendapatkan kondisi awal. Setelah itu ditiriskan lalu dicampur air dengan perbandingan rumput laut dan air sebesar 1:2 kemudian dihaluskan dengan *blander* (Sitompul *et al.*, 2013). Substrat yang sudah dibuat dianalisis kandungan, *Chemical Oxygen Demand* (HA CH Company, 2004), *Total Suspended Solid* (APHA, 1998), *Volatile Suspended Solid* (APHA, 1998).

2.4. Aklimatisasi Inokulum

Inokulum yang digunakan adalah kotoran sapi yang berasal dari reaktor penghasil biogas yang sudah beroperasi. Inokulum diambil kemudian disaring dan dimasukkan ke dalam reaktor (Gambar 1) sebanyak 16 Liter sebagian lagi diambil untuk dianalisis *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Total Suspended Solid* (TSS), *Volatile Suspended Solid* (VSS), dan pH. Inokulum yang sudah dimasukkan dalam reaktor dibiarkan selama beberapa hari sampai pH inokulum tersebut mencapai pH normal dan stabil serta menghasilkan biogas. Setelah itu inokulum sudah bisa diberi pembebanan dengan cara pemberian substrat. Beban yang diberikan untuk proses aklimatisasi sebesar 0,5 kg COD.m⁻³.hari⁻¹ yaitu sebesar 0,235 L/hari (Sitompul *et al.*, 2013). Proses penambahan substrat dilakukan sampai volume reaktor 21,305 L. Untuk menghitung jumlah substrat yang akan ditambahkan dapat menggunakan Persamaan 1.

$$LPO = \frac{COD_{in} \times F}{V} \dots\dots\dots(1)$$

dimana: LPO= laju pembebanan COD (kg COD.m⁻³.hari⁻¹), COD in= konsentrasi COD umpan (kg/m³), F= laju alir umpan (L/hari), V= volume kerja reaktor (L).

2.5. Produksi Biogas

Selama produksi biogas proses pengumpanan dilakukan secara semikontinyu dan pembebanan organik yang meningkat. Pengumpanan secara semikontinyu dan pembebanan organik meningkat artinya, setiap hari reaktor diberikan umpan sesuai pembebanan dan campuran/*slurry* yang ada di dalam reaktor juga dikeluarkan sebanyak umpan yang diberikan (Gambar 2).

Selama produksi biogas, parameter yang diamati adalah pH dan volume gas yang dilakukan setiap hari. Analisis COD, TSS dan VSS dilakukan seminggu 2 kali, serta analisis komposisi gas menggunakan kromatografi gas (Shimadzu Corp, 2004) 3 kali tiap 2 minggu. Gas pembawa yang digunakan pada kromatografi gas yaitu helium. Kolom

yang digunakan jenis shincarbon st, panjang kolom 6 m, diameter internal 3 mm, dan suhu injeksi 100°C. Kondisi kromatografi gas saat proses yaitu suhu gas pembawa dan detektor yaitu 200°C, sedangkan suhu kolom 150°C. Laju alir pada kolom sebesar 43 mL/min. Data COD substrat dan *slurry* digunakan untuk menghitung COD *removal* (CODr) dengan menggunakan Persamaan 2.

$$CODr (\%) = \frac{COD_{in} - COD_{out}}{COD_{in}} \times 100\% \dots (2)$$

dimana: CODr= persentase COD *removal* (%), COD in= konsentrasi COD umpan (g/L), COD out= konsentrasi COD aliran keluaran/*slurry* (g/l)

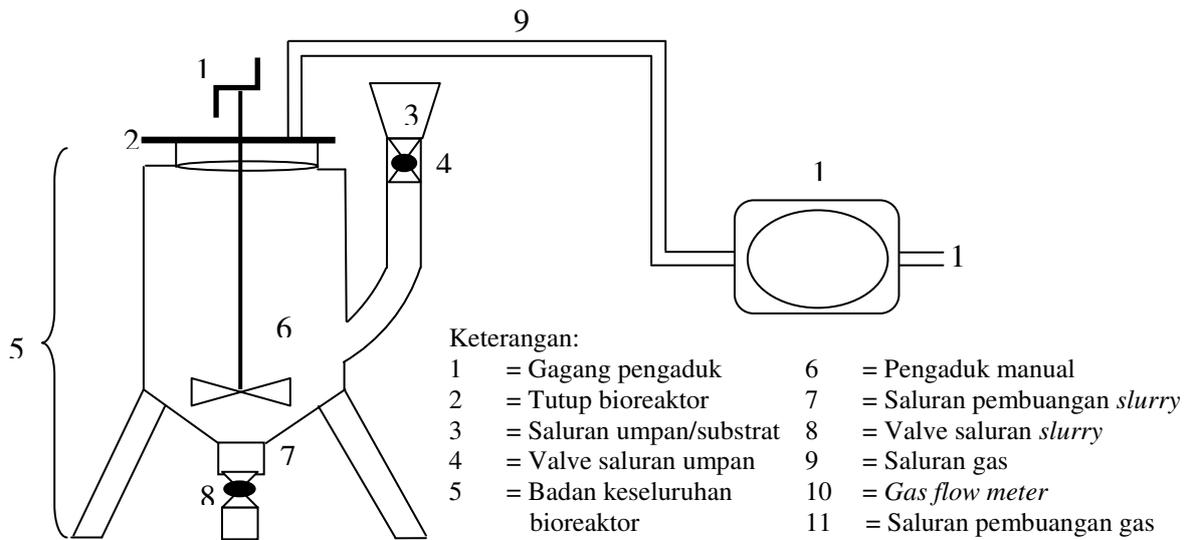
Data komposisi gas yang dihasilkan dari GC dinyatakan dalam bentuk persen. Data tersebut digunakan untuk menghitung volume gas metana yang dihasilkan. Perhitungan volume CH₄ dihitung dengan menggunakan persamaan 3.

$$CH_4(l) = \text{volume biogas (l)} \times \text{metana (\%)} \dots(3)$$

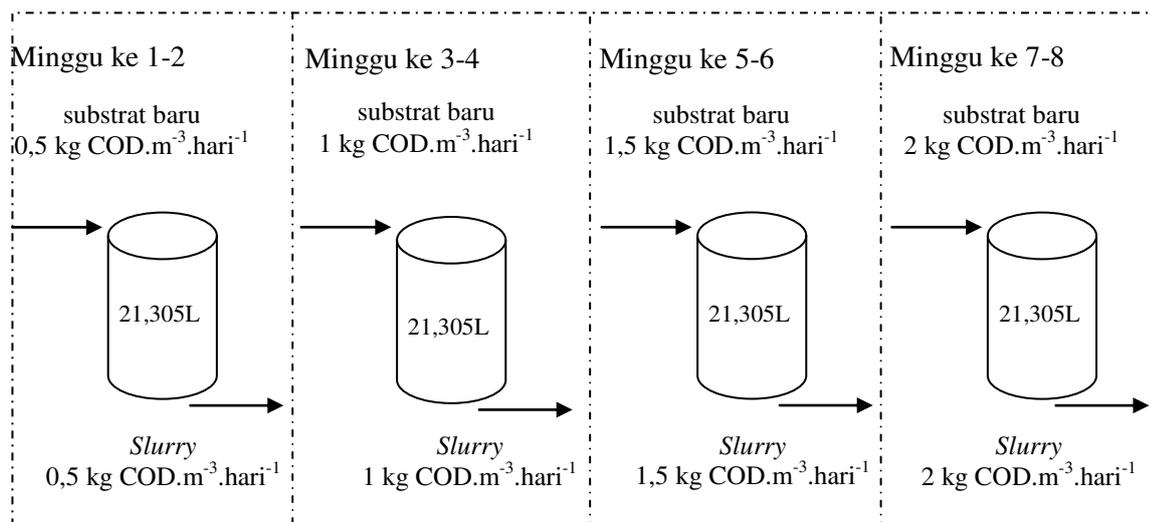
2.6. Total Nitrogen (AOAC, 2005)

Sampel 0,1 g dimasukkan ke dalam labu kjeldahl. Ditambahkan 1,9 g K₂SO₄, 2,5 ml H₂SO₄ dan tablet kjeldahl. Sampel dididihkan sampai jernih. Didinginkan dan dipindahkan ke alat destilasi. Selanjutnya dibilas dengan aquadest dan air bilasan tersebut juga dimasukkan dalam wadah yang terdapat di bawah kondensor. Ke dalam tabung destilasi ditambahkan larutan NaOH 40% 20 ml. Cairan dari kondensor ditampung dengan erlenmeyer 125 ml berisi larutan H₃BO₃ dan 3 tetes indikator. Destilasi dilakukan sampai diperoleh kira-kira 200 ml destilat. Destilat dititrasi dengan menggunakan HCl 0,1 N sampai terjadi perubahan warna menjadi merah. Kadar nitrogen dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 4 berikut:

$$N(\%) = \frac{(ml \ HCL - ml \ blanko) \times NHCL \times 14,007}{Bobot \ sampel} 100\% \dots(4)$$



Gambar 1. Skema rangkaian bioreaktor skala laboratorium berkapasitas 22 l.



Gambar 2. Proses produksi biogas secara semikontinyu.

2.7. Total Organik Karbon (TOC) (Walkey and Black, 1987)

Sampel sebanyak 0,1 g, dimasukkan ke dalam labu takar 100 ml, ditambahkan 5 ml K₂Cr₂O₇ 0,025 N. Sebanyak 7,5 ml H₂SO₄ pekat ditambahkan kemudian erlenmeyer digoyang dengan cepat, lalu dinginkan. Ditambahkan aquades sampai batas tare dan diamkan semalaman. Larutan diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer dengan panjang gelombang 561 nm. De-

ngan melakukan prosedur yang sama menggantikan sampel dengan glukosa cair sebagai standar dan aquadest sebagai blanko. C-organik total dihitung dengan menggunakan Persamaan 5 berikut:

$$\text{TOC}(\%) = \frac{(\text{meK}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 - \text{meFeSO}_4) \times (0,003 \times 1,33 \times 100)}{\text{BKM}} \dots(5)$$

2.8. Lignin (Van Soet, 1991)

Pengujian lignin menggunakan metode (Van Soet, 1991) yang merupakan kelanjutan dari analisa ADF dan selulosa.

2.9. Total Suspended Solid (TSS) (APHA, 1998)

Sebanyak 30 ml sampel disentrifius pada 3000 rpm selama 15menit. Endapan yang terbentuk lalu dioven pada suhu 105°C sampai beratnya stabil. Nilai TSS dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 6.

$$\text{TSS (mg/L)} = \frac{\text{Berat endapan setelah dioven (mg)}}{\text{volume sampel (L)}} \dots\dots\dots(6)$$

2.10. Volatile Suspended Solid (VSS) (APHA, 1998)

Pengukuran VSS merupakan kelanjutan dari pengukuran TSS. Sampel yang telah dioven kemudian dibakar dalam furnace 600°C selama 40 menit), setelah itu diinginkan. VSS dihitung dengan Persamaan 7.

$$\text{VSS (mg/L)} = \frac{\text{Berat endapan setelah dioven (mg)} - \text{Berat endapan setelah difurnace (mg)}}{\text{volume sampel (L)}} \dots\dots\dots(7)$$

2.11. Chemical Oxygen Demand (COD) (HACH Company, 2004)

Sebanyak 0,2 ml sampel dimasukkan ke dalam *vial* yang berisi 5 mL reagen COD lalu dipanaskan menggunakan *reactor unit* DBR200 pada suhu 150°C selama 2 jam. Kemudian didinginkan sampai suhu ruang. Pengukuran nilai COD dengan menggunakan HACH Spektrofotometri DR4000 pada panjang gelombang 620 nm (HACH Company, 2004).

2.12. Rancangan Percobaan

Rancangan percobaan yang digunakan adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 4 taraf (Steel and Torrie, 1993). Jika terdapat pengaruh nyata ($p < 0,05$) maka dilaku-

kukan uji lanjut Duncan. Semua data dianalisis dengan menggunakan *software* SAS 9.1.3.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Karakteristik Bahan Baku

Kandungan kimia dari makroalga dapat mempengaruhi tingkat biodegradabilitas anaerobiknya. Kandungan lignin yang rendah yaitu sebesar 3,36% (Tabel 1.) akan memudahkan proses biodegradasi. Hasil ini lebih tinggi jika dibandingkan hasil penelitian Sitompul *et al.* (2013) yang menyatakan kandungan lignin pada *Ulva lactuca* sebesar 1,54%. Hal ini menunjukkan bahwa setiap spesies memiliki karakteristik tersendiri. Lignin merupakan senyawa polimer organik yang paling sulit terbiodegradasi dibandingkan dengan komponen organik lainnya (Yin *et al.*, 2000). Selain itu lignin juga menyelimuti komponen biodegradabel seperti selulosa dan hemiselulosa sehingga mencegah penetrasi enzim pengurai untuk mencapai komponen tersebut (Sezun *et al.*, 2010). Kandungan lignin dari *Ulva* sp. ini jauh lebih rendah jika dibandingkan dengan kadar lignin pada tanaman darat seperti batang jerami padi, rumput gajah, tandan kosong sawit serta batang pisang yang memiliki kandungan lignin 5-23% (Peupatung *et al.*, 2009; Sitompul *et al.*, 2012). Kandungan lignin *Ulva* sp. juga lebih rendah jika dibandingkan dengan tanaman air tawar yaitu eceng gondok yang memiliki kandungan lignin sebesar 5-9% (Chang *et al.*, 2010; Sitompul *et al.*, 2012).

Bakteri anaerob mengkonsumsi karbon sekitar 30 kali lebih cepat dibanding nitrogen. Nilai C/N rasio *Ulva* sp. sebesar 20,46 nilai ini lebih kecil jika dibandingkan penelitian Sitompul *et al.* (2013) yaitu sebesar 23,58 (Tabel 1). Nilai tersebut sangat baik karena rasio optimum untuk digester anaerobik berkisar 20-30 (Haryati, 2006).

Chemical Oxygen Demand (COD) adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mendegradasi bahan organik secara

kimiawi. Nilai COD menunjukkan kandungan bahan organik yang dapat dimanfaatkan oleh mikroorganisme untuk menghasilkan biogas. Kandungan COD yang tinggi yaitu sebesar 33,98 g/L (Table 1) menunjukkan banyaknya kandungan bahan organik pada substrat yang dapat didegradasi menjadi bahan biogas.

Nilai *Total Suspended Solid* (TSS) dan *Volatile Suspended Solid* (VSS) dari *Ulva sp.* berturut-turut sebesar 33,35 g/L dan 28,87 g/L (Tabel 1). Nilai TSS menunjukkan jumlah bahan organik dan anorganik yang terkandung dalam substrat, sedangkan nilai VSS menunjukkan besarnya kandungan biomasa yang terdapat dalam campuran (Handel and Lubbe, 2007).

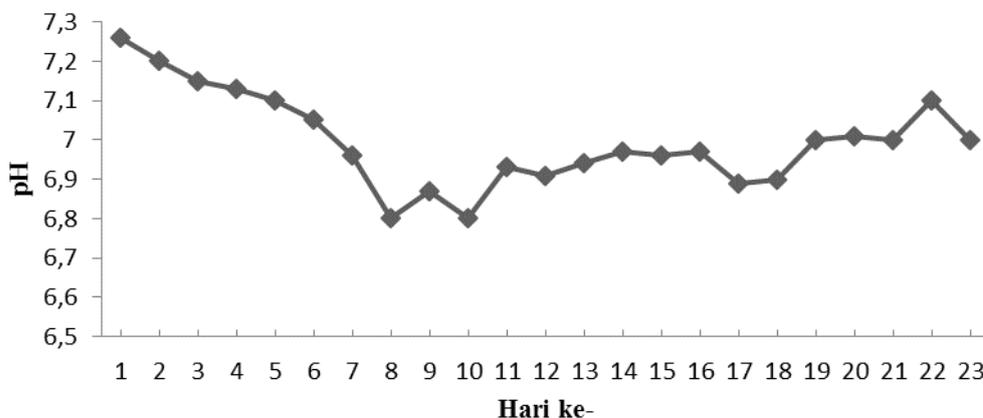
3.2. Aklimatisasi

Proses aklimatisasi dilakukan selama 23 hari dengan cara menambahkan beban substrat rumput laut sebesar 0,5 kg COD.m⁻³.hari⁻¹ kedalam reaktor hingga volume yang awalnya berisi 16 L kotoran sapi menjadi 21,305 L. Proses aklimatisasi bertujuan agar bakteri pendegradasi yang ada di dalam kotoran sapi (inokulum awal) dapat beradaptasi dengan substrat dan lingkungan yang baru. Nilai pH diukur selama proses aklimatisasi diukur setiap harinya (Gambar 3).

Selama proses aklimatisasi pH berkisar antara 6,8-7,26. Nilai pH mengalami pola yang menurun saat awal proses aklimatisasi. Hal ini dikarenakan terbentuknya asam-asam volatil akibat aktivitas bakteri *acidonegenik*, yang nantinya asam-asam volatil ini akan

Tabel 1. Karakteristik kimia *Ulva sp.*

Parameter	Satuan	Nilai
Lignin	%	3,36
C	%	26,09 ± 0,36
N	%	1,28 ± 0,01
C/N Rasio		20,46 ± 0,17
<i>Total Suspended Solid</i> (TSS)	g/L	33,35 ± 0,46
<i>Volatile Suspended Solid</i> (VSS)	g/L	28,87 ± 0,40
<i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD)	g/L	33,98 ± 2,15
pH		7,93



Gambar 3. Nilai pH selama proses aklimatisasi.

dikonversi menjadi metana oleh bakteri *metanogenik*. Nilai pH selama aklimatisasi cukup baik karena masuk dalam interval pH 6,8-8,5 yang merupakan interval pH terbaik proses pembentukan metana. Nilai pH di luar interval tersebut dapat menyebabkan proses tidak seimbang. Parameter pH berpengaruh pada pertumbuhan bakteri dan mempengaruhi disosiasi amonia, sulfida dan asam-asam organik yang merupakan senyawa penting untuk proses perombakan anaerobik (Bitton, 1999).

3.3. Produksi Biogas

Produksi biogas dilakukan selama 57 hari secara semikontinyu dengan laju pembebanan organik yang meningkat setiap 2 minggu. Laju pembebanan organik yang diterapkan yaitu 0,5; 1; 1,5 dan 2 kg COD.m⁻³.hari⁻¹. Parameter yang diamati selama proses adalah pH, TSS, VSS, COD *removal* (CO Dr), volume biogas dan komposisi biogas.

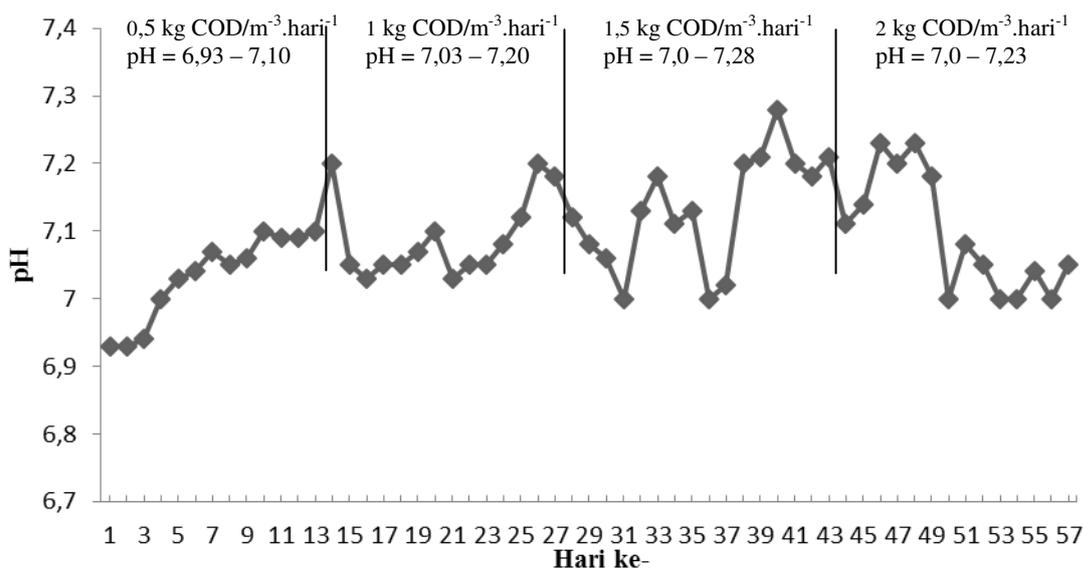
3.3.1. Nilai pH

Nilai pH selama proses produksi biogas disajikan pada Gambar 4. Nilai pH berkisar antara 6,93-7,28. Nilai ini cukup baik

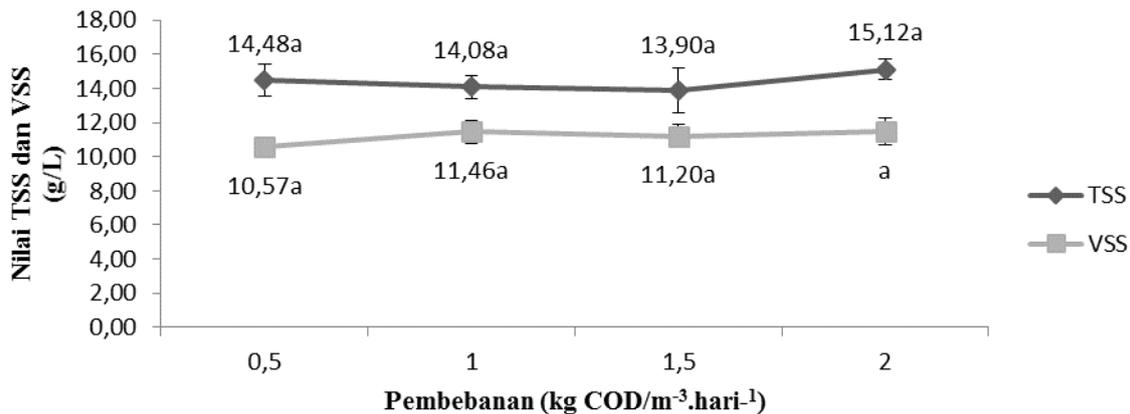
karena proses pembentukan metana terjadi pada pH 6,8-8,5 (Bitton, 1999). Tingkat keasaman cenderung stabil, artinya proses peningkatan pembebanan tidak mempengaruhi nilai pH secara signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa selama proses produksi biogas kondisi kesetimbangan masih bisa dijaga.

3.3.2. Total Suspended Solid (TSS) dan Total Volatil Solid (VSS)

Campuran di dalam reaktor terdiri dari padatan tersuspensi dan cairan. *Total Suspended Solid* (TSS) mengandung bahan-bahan organik dan nonorganik. Konsentrasi TSS dapat dihitung dengan cara menyaring campuran dan mengeringkannya. *Total Volatile Solid* (VSS) adalah bahan-bahan organik yang akan menguap saat campuran dipanaskan pada suhu 550°C. Nilai VSS menunjukkan besarnya kandungan biomassa yang terdapat dalam campuran (Haandel and Lubbe, 2007). Pengaruh peningkatan pembebanan organik terhadap nilai TSS dan VSS disajikan pada Gambar 5. Nilai rasio VSS/TSS menggambarkan nilai aktivitas dari biomassa di dalam campuran yang ada di dalam reaktor (Gambar 6).



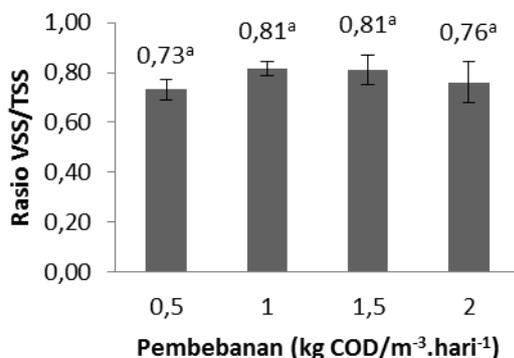
Gambar 4. Nilai pH selama proses produksi biogas.



Gambar 5. Pengaruh peningkatan pembebanan organik terhadap nilai TSS dan VSS.

Perlakuan peningkatan pembebanan tidak memberikan pengaruh nyata terhadap nilai TSS dan VSS ($P > 0,05$). Nilai TSS berkisar antara 13,895 g/L – 15,118 g/L, sedangkan nilai VSS berkisar antara 10,568 g/L – 11,477 g/L. Nilai TSS dan VSS cenderung stabil, menandakan proses masih berjalan dengan baik. Fluktuasi VSS yang tinggi dapat mengganggu kerja bakteri *metanogenik*. Semakin stabil dan semakin rendah nilai VSS selama proses biodegradasi anaerobik menunjukkan semakin banyak senyawa organik yang terurai.

Rasio VSS/TSS juga tidak dipengaruhi oleh peningkatan pembebanan ($P > 0,05$). Rasio VSS/TSS cukup tinggi yaitu berkisar antara 0,73-0,81. Nilai ini sesuai dengan pernyataan Haandel and Lubbe (2007) bahwa rasio VSS/TSS pada campuran berkisar antara 0,65-0,80 bergantung dengan jenis, sumber dan kondisi pengelola campuran.



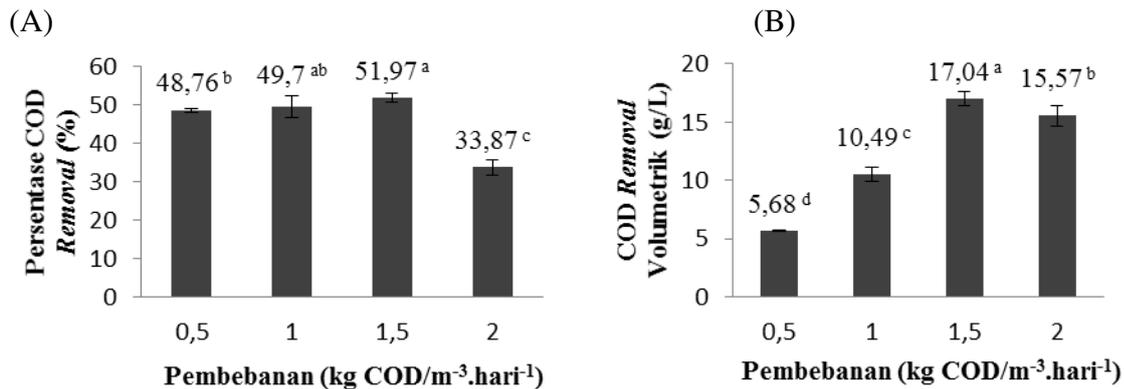
Gambar 6. Rasio VSS/TSS selama produksi biogas.

3.3.3. COD Removal

Peningkatan laju pembebanan organik pada sistem akan meningkatkan jumlah bahan organik yang harus didegradasi oleh mikroorganisme. Hal ini akan berpengaruh pada kemampuan mikroorganisme dalam mendeградasi substrat yang tersedia. Pengaruh peningkatan pembebanan organik terhadap nilai COD removal disajikan pada Gambar 7.

Peningkatan pembebanan berpengaruh nyata terhadap persentase COD removal (Gambar A) ($P < 0,05$). Pembebanan 1,5 kg COD.m⁻³.hari⁻¹ memiliki pengaruh yang signifikan dibandingkan dengan pembebanan 0,5 dan 2 kg COD.m⁻³.hari⁻¹ ($P < 0,05$), namun tidak berbeda nyata jika dibandingkan dengan perlakuan pembebanan 1 COD.m⁻³.hari⁻¹ ($P > 0,05$). Jika dilihat secara volumetrik, semua perlakuan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap COD removal ($P < 0,05$). COD removal tertinggi diperoleh saat pembebanan 1,5 kg COD.m⁻³.hari⁻¹ yaitu sebesar 17,04 g/L. Hal ini dikarenakan semakin tinggi pembebanan yang diberikan maka volume substrat yang diberikan juga meningkat, akibatnya walaupun secara persentase antara pembebanan 1 dan 1,5 kg COD.m⁻³.hari⁻¹ tidak berbeda nyata namun secara volumetrik berbeda nyata.

Laju pembebanan yaitu 1,5 kg COD.m⁻³.hari⁻¹ dari perlakuan yang menghasilkan nilai tertinggi COD removal baik secara persentase maupun volumetrik. Hal ini sesuai dengan pernyataan Kouba (2006) bah-



Gambar 7. Pengaruh peningkatan pembebanan organik terhadap persentase COD *removal* (A) dan COD *removal* secara volumetrik (B).

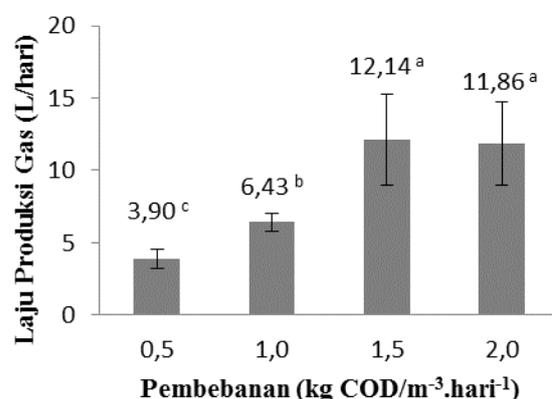
wa pembebanan yang bisa diberikan pada reaktor yang bekerja dengan sistem seperti *Lagoon*/kolam atau *Continuous Stirrer Tank Reactor* (CSTR), yaitu maksimal 2 kg COD.m⁻³.hari⁻¹ atau bahkan kurang dari itu. Nilai COD *removal* tertinggi yaitu sebesar 51,97%. Hasil ini lebih tinggi jika dibandingkan penelitian Sitompul *et al.* (2013) yang menggunakan rumput laut *Ulva lactuca* yaitu hanya sebesar 48,6%. Nilai COD *removal* *Ulva* sp. masih lebih kecil jika dibandingkan dengan nilai COD *removal* rumput laut jenis *Padina* sp. yaitu sebesar 72% (Sitompul *et al.*, 2013). Hal ini disebabkan karena *Ulva* sp. memiliki kandungan sulfur yang tinggi yaitu sebesar 2,8-44% (Briand and Morrard, 1997). Kandungan sulfat, sulfit atau tiosulfat dapat menyebabkan terbentuknya hidrogen sulfat yang menghambat aktivitas bakteri-bakteri *metanogenik*. Terhambatnya aktivitas bakteri *metanogenik* dikarenakan adanya kompetisi substrat antara bakteri pereduksi sulfat dan bakteri pereduksi CO₂ menjadi CH₄. Selain itu juga beberapa *trace* elemen (Fe, Ni, Co, Mo) dapat mengendap akibat adanya sulfida (Spacee, 1983).

3.3.4. Laju Produksi Gas

Proses degradasi bahan organik secara anaerobik akan menghasilkan gas, terutama CH₄ dan CO₂. Laju produksi biogas diamati dan diukur setiap hari. Pengaruh pening-

katan pembebanan organik terhadap laju produksi gas disajikan pada Gambar 8.

Dari Gambar 8 dapat dilihat bahwa peningkatan pembebanan organik akan meningkatkan laju produksi gas. Peningkatan pembebanan organik berpengaruh nyata terhadap laju produksi gas ($P > 0,05$). Pembebanan 1,5 kg COD.m⁻³.hari⁻¹ memiliki pengaruh yang signifikan jika dibandingkan dengan pembebanan 0,5 dan 1 COD.m⁻³.hari⁻¹ ($P < 0,5$). Laju produksi gas tertinggi yaitu saat pembebanan 1,5 COD.m⁻³.hari⁻¹, yaitu sebesar 12,14 L/hari. Hal ini sangat berhubungan dengan persentase COD *removal*. Semakin tinggi persentase COD *removal* artinya semakin banyak bahan organik yang dirombak oleh mikroorganisme untuk diubah menjadi gas. Pembebanan 1,5 kg COD.m⁻³.

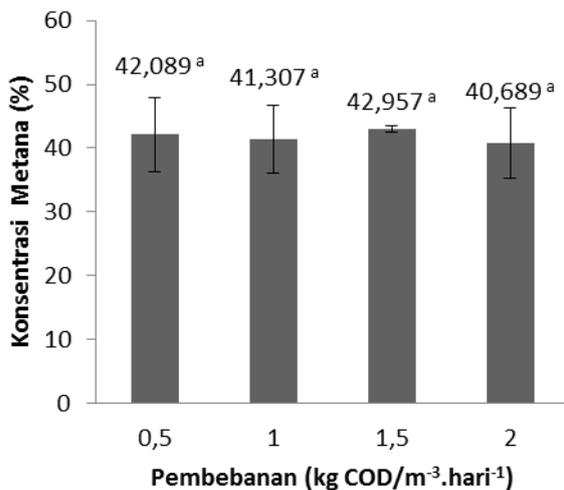


Gambar 8. Pengaruh peningkatan pembebanan organik terhadap laju produksi gas.

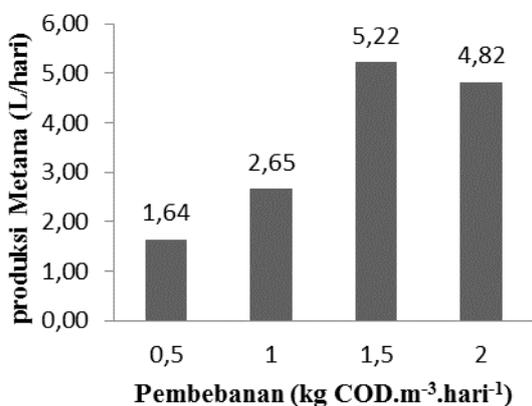
hari⁻¹ ($P>0,5$), namun jika dihubungkan dengan nilai persentase COD *removal*, pembebanan 2 COD.m⁻³.hari⁻¹ sudah tidak efektif karena nilai persentase COD *removal* hanya sebesar 33,87% (Gambar 7).

3.3.5. Konsentrasi Metana dan Laju Produksi Metana

Komposisi utama dari biogas adalah metana (CH₄) dan CO₂. Pengaruh peningkatan pembebanan organik terhadap konsentrasi CH₄ dari biogas yang dihasilkan disajikan pada Gambar 9. Data laju produksi metana dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 9. Pengaruh peningkatan pembebanan organik terhadap konsentrasi metana selama produksi biogas.



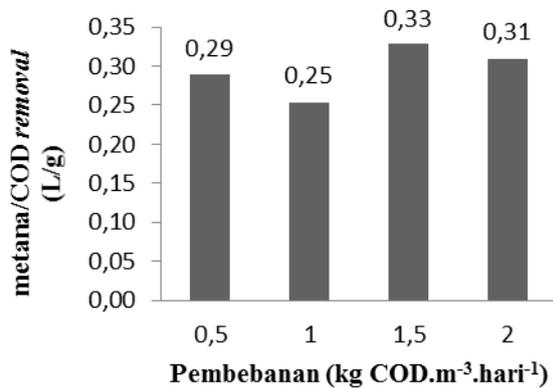
Gambar 10. Laju produksi metana selama produksi biogas.

Perlakuan peningkatan pembebanan tidak memberikan pengaruh terhadap nilai konsentrasi CH₄ ($P>0,05$). Konsentrasi CH₄ berkisar antara 40,089% –42,957%. Rata-rata konsentrasi CH₄ tertinggi yang bisa dicapai dari proses biodegradasi anaerobik yaitu sebesar 42,96%. Hasil ini lebih rendah jika dibandingkan dengan hasil penelitian Sitompul *et al.* (2012), yang menyebutkan kandungan CH₄ hasil biodegradasi anaerobik dari *Ulva lactuca* sebesar 49,9%. Dari data konsentrasi dan laju produksi gas dapat diketahui laju produksi metana. Produksi metana yang terbesar dihasilkan pada saat pembebanan 1,5 kg COD.m⁻³.hari⁻¹ yaitu sebesar 5,22 L/hari. Hal ini jelas terjadi karena laju produksi gas terbesar dan komposisi CH₄ tertinggi juga terjadi pada pembebanan ini.

Proses degradasi anaerobik melibatkan sejumlah bakteri yang berbeda sesuai dengan jenis reaksi yang terjadi. Secara umum ada empat kelompok bakteri yang terlibat yaitu kelompok bakteri hidrolisis, *acidogenesis*, *acetogenesis* dan *metanogenesis* (Baloch *et al.* 2007; Zhou *et al.*, 2011). Proses pembentukan CH₄ terjadi pada tahap *metanogenesis* dengan memanfaatkan substrat seperti asam format, asam asetat, CO₂ dan H₂ yang merupakan produk dari tahap sebelumnya yaitu hidrolisis, *acidogenesis*, dan *acetogenesis*. Secara stoikiometri satu mol asam format hanya akan menghasilkan 0,25 mol CH₄, sedangkan 1 mol asam asetat akan menghasilkan 1 mol CH₄. hal ini menunjukkan bahwa produksi CH₄ sangat ditentukan oleh kemampuan tahap sebelum *metanogenesis* untuk membentuk asam asetat.

Dari data COD *removal* dan laju produksi metana dapat diketahui berapa besar jumlah metana yang dihasilkan sistem per gram COD. Data produksi metana/COD *removal* disajikan pada Gambar 11.

Produksi metana/CODr menunjukkan kemampuan sistem reaktor untuk menghasilkan metana (liter) dari satu gram COD. Konversi secara stoikiometri setiap satu gram COD dapat juga menghasilkan 0,35 L metana



Gambar 11. Produksi metana/penyisihan COD.

(Michaud *et al.*, 2002). Hasil perhitungan kandungan CH₄ dari biogas hasil biodegradasi anaerobik *Ulva sp.* dengan pembebanan yang berbeda berkisar antara 0,25-0,33 L CH₄/g. Pembebanan sebesar 1,5 kg COD.m⁻³.hari⁻¹ menghasilkan nilai tertinggi yaitu 0,33 L CH₄/g dibandingkan dengan pembebanan lainnya. Hasil tersebut masih di bawah konversi secara stoikiometri (0,35 L/g). Hal ini diduga karena proses metanogenesis yang tidak sempurna.

KESIMPULAN

Karakteristik *Ulva sp.* yang rendah lignin (3,36 %) dan nilai C/N rasio (20,46) menjadikan *Ulva sp.* sangat potensial untuk dijadikan bahan baku pembuatan biogas. Peningkatan pembebanan akan meningkatkan laju produksi biogas. Pembebanan optimum yaitu sebesar 1,5 kg COD.m⁻³.hari⁻¹ yang menghasilkan laju produksi biogas tertinggi yaitu sebesar 12,14 L/hari dengan rata-rata COD removal sebesar 51,97%. Kandungan CH₄ pada biogas yang dihasilkan sebesar 42,96% sehingga produksi metana yang diperoleh sebesar 0,33 L CH₄/g COD. Rasio VSS/TSS sebesar 0,81 menunjukkan nilai aktivitas biomassa yang tinggi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Pengelolaan Dana Pendidikan (LPDP) Kementerian Keuangan Repu-

blik Indonesia atas bantuan dana penelitian dengan nomor kontrak PJR-796/LPDP/2013, serta Laboratorium *Surfactant and Bioenergy Research Center* (SBRC) Institut Pertanian Bogor dan Laboratorium Pengelolaan Limbah Agroindustri Universitas Lampung atas izin dan fasilitas yang diberikan kepada penulis.

DAFTAR PUSTAKA

- American Public Health Association. 1998. Standard methods for the examination Examination of water and wastewater . 20th ed. Victor Graphics Inc. Baltimore. 1220p.
- Association of Official Analytical Chemists. 2005. Official methods of analysis. 18th ed. Association of Official Analytical Chemists Inc. Washington. 1899p.
- Baloch, M.I., J.C. Akunna, and P.J. Collier. 2007. The performance of a phase separated granular bed bioreactor treating brewery wastewater. *Biore-source Technol.*, 98:1849-1855.
- Bitton, G. 1999. Wastewater microbiology. 2nd ed. Wiley-Liss Inc. New York. 800p.
- Briand, X. and P. Morand. 1997. Anaerobic digestion of *Ulva sp.* 1. relationship between *Ulva sp.* composition and methanisation. *J. of Applied Phycology*, 9:511-524.
- Bruhn, A., A. Dahl, H.B. Nielsen, L. Nikolaisen, S. Markager, B. Olesen, C. Arias, and D. Jensen. 2011. Bioenergy potential of *Ulva lactuca*, biomass yield, methane production and combustion. *Bioresour Technology*, 102: 2595-2604.
- Chang, H.N., N.J. Kim, J. Kang, and C.M. Jeong. 2010. Biomass derived volatile fatty acid platform for fuels and chemicals. *Biotechnology and Bio-process Engineering*, 15:1-10.
- Costa, J.C., P.R. Gonçalves, A. Nobre, and M.M. Alves. 2012. Biomethanation

- potential of macroalgae *Ulva* spp. and *Gracilaria* spp. and in codigestion with waste activated sludge. *Biore-source Technology*, 114:320–326.
- Deublin, D. and A. Steinhäuser. 2008. *Bio-gas From Waste and Renewable Resource*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. Weinheim. 578p.
- Haandel, A. and J. Lubbe. 2007. *Handbook Biological Waste Water Treatment*. Quist Publishing. Netherlands. 377-380p.
- HACH Company. 2004. DR/4000 Spectrophotometer Models 48000 and User Manual 08/04 3ed. HACH Company World Headquarters. Colorado. 8p.
- Hansson G. 1983. Methane production from marine, green macro-algae. *Resources and Conservation*, 8:185-194.
- Haryati, T. 2006. Biogas: limbah peternakan yang menjadi sumber energi alternatif. Balai Penelitian Ternak. *J. Wartazoa*, 16 (3):160-169.
- Kapdi, S.S., V.K. Vijay, S.K. Rejesh, and R. Prasad. 2006. Upgrading biogas for utilization as a vehicle fuel. *AS. J. Energy Env*, 7(04):387-393.
- Kouba, J.F. 2006. Food waste to energy: biogas and anaerobic digestion. American Meat Institute Environmental Conference. WENCK Associates Responsive Patners Exceptional Outcomes. 27 January 2006.
- Michaud S., N. Bernet, P. Buffière, M. Roustan, and R. Moletta R. 2002. Methane yield as a monitoring parameter for the start up of anaerobic fixed film reactors. *Water Research*, 36(5):1385-1391.
- Morand, P., X. Briand, and R.H. Charlier. 2006. Anaerobic digestion of *Ulva sp* 3 liquefaction juices extraction by pressing and a technico economic budget. *J. Appl. Phycol*, 18:741–755.
- Pedersen, M.F. and J. Borum. 1996. Nutrient control of algal growth in estuarine waters. Nutrient limitation and the importance of nitrogen requirements and nitrogen storage among phytoplankton and species of macroalgae. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 142:261-272.
- Paepatung, N., A. Nopharatana, and W. Songkasiri. 2009. Bio methane potential of biological solid materials and agricultural wastes. *Asian J. of Energy and Environment*, 10(01):19-27.
- Sezun, M., V. Grilc, and R.M. Loga. 2010. Anaerobic digestion of mechanically and chemically pretreated lignocellulosic substrate, Proceedings Venice 2010. In: Third International Symposium on Energy from Biomass and Waste Venice, 8-11 November 2010. 158-166pp.
- Shimadzu Corporation. 2004. GC-2014 Gas chromatography instruction manual. Shimadzu Corporation Analytical and Measuring Instrument Division. Kyoto. Japan. 11p.
- Sitompul, J.P., A. Bayu, T.H. Soerawidjaja, and H.W. Lee. 2012. Studies of biogas production from green seaweeds. *J. of Enveronment and Bioenergy*, 3(3):132-144.
- Sitompul, J.P., A. Bayu, T.H. Soerawidjaja, dan H.W. Lee. 2013. Biodegradasi anaerobik biomassa tanaman laut dan produksi biogas dalam digester skala mini-pilot. *J. Teknik Kimia Indonesia*, 11(4):173-179.
- Spacee, R.E. 1983. Anaerobik biotechnology for industrial wastewater treatment. *Environ. Science Technology*, 17(9): 416-426.
- Steel, R.G.D. and J.H. Torrie. 1993. Prinsip dan prosedur statistika. Sumantri B, Terjemahan. Gramedia. Jakarta. 647p.
- Van Soet P.J., J.B. Robertson, and B.A. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.*, 74: 3583-3597.
- Vivekanand,V., V.G.H. Eijsink, and S.J. Horn. 2011. Biogas production from the brown seaweed *Saccharina la-*

- tissima*: thermal pretreatment and codigestion with wheat straw. *J. of Applied Phycology*, 24:1295-1301.
- 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(1):29-38.
- Wieland, P. 1987. Development of anaerobic filters for treatment of high strength agro-industrial wastewaters. *Bioprocess Engineering*, 2:39-47.
- Yin, C.R., D.I. Seo, K.M. Kim, and S.T. Lee. 2000. Inhibitory effect of hardwood lignin on acetate utilizing methanogens in anaerobic digester sludge. *Bioetchnology Letters*, 2-1531-1535.
- Zhou, Y., Z. Zhang, T. Nakamoto, Y. Yuan Li, Y. Yang, M. Utsumi, and N. Sugiura. 2011. Influence of substrate to inoculum ratio on the batch anaerobic digestion of bean curd refuseokara under mesophilic conditions. *Biomass and Bioenergy*, 35: 3251-3256.

Diterima : 6 April 2015

Direview : 29 Mei 2015

Disetujui : 17 Juni 2015

