

PENGARUH WAKTU FERMENTASI DAN KOMPOSISI LIMBAH ECENG GONDOK (*Eichhornia crassipes*) UNTUK MENGHASILKAN GAS BIO DENGAN METODE HIDROLISA BASA MENGGUNAKAN NATRIUM HIDROKSIDA (NaOH)

*EFFECT OF FERMENTATION TIME AND WATER HYACINTH (*Eichhornia Crassipes*) WASTE COMPOSITION TO PRODUCE BIOGAS BY ALKALI HYDROLYSIS METHOD USING SODIUM HYDROXIDE (NaOH)*

Setiaty Pandia, Pri Hartini*

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

*Email : pri_hartini12@yahoo.com

Abstrak

Eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) merupakan tanaman yang menjadi limbah perairan dan keberadaannya belum banyak dimanfaatkan. Kandungan selulosa, hemiselulosa, dan lignin di dalamnya dapat dimanfaatkan menjadi gas bio melalui proses fermentasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efek metode pre-treatment alkali terhadap volume gas bio dan persentase penyisihan *Total Suspended Solid* (TSS). Penelitian ini dilakukan pada eceng gondok yang difermentasi pada konsentrasi NaOH 2,86 M; 3 M; 4 M; dan 6,67 M, dicampur dengan air pada rasio eceng gondok:air 70:30 (v/v); 50:50 (v/v); 30:70 (v/v) dan 100:0 (v/v) dan starter kotoran sapi di dalam digester anaerobik sistem *batch* kapasitas 2,5 L. Pada penelitian ini produksi gas bio tertinggi terjadi pada konsentrasi NaOH 6,67 M dengan rasio perbandingan eceng gondok:air 70:30 (v/v) dihasilkan volume gas bio 506 mL dan persentase penyisihan TSS sebesar 93,23%. Hasil minimum terjadi pada konsentrasi NaOH 3 M dengan rasio perbandingan eceng gondok:air 30:70 (v/v) dihasilkan volume gas bio 158 mL dan persentase penyisihan TSS sebesar 81,48%.

Kata kunci: eceng gondok, perlakuan awal, digester anaerobik, NaOH, gas bio, TSS

Abstract

Water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) is a plant that become aquatic waste and its existence has not yet widely used. The content of cellulose, hemicellulose, and lignin inside it can be used into biogas through fermentation process. The purpose of this research was to determine the effect of alkali pretreatment methods on the yield biogas volume and *Total Suspended Solid* (TSS) removal percentage. The study was done by fermentation process the water hyacinth with NaOH concentration of 2,86; 3; 4; and 6,67 (M) with water in ratio hyacinth:water 70:30; 50:50; 30:70 and 100:0 (v/v) mixed with cow dung starter in an anaerobic digester batch system of 2,5 L capacity. In this study the highest biogas production at NaOH concentration 6,67 M was in ratio of 70:30 (v/v) with yield biogas volume 506 mL and TSS removal percentage of 93,23%. Minimum value of gas bio production concentration of NaOH 3M with water hyacinth:water ratio 30:70 (v/v) generate yield biogas volume 158 mL and TSS removal percentage of 81,48%.

Key word: water hyacinth, pre-treatment, anaerobic digester, NaOH, gas bio, TSS

Pendahuluan

Sumber energi fosil sebagai bahan bakar minyak memang sangat terbatas, dikarenakan semakin meningkatnya kebutuhan akan penggunaan energi dengan pertambahan jumlah penduduk dan peningkatan konsumsi oleh masyarakat [2]. Hal ini diperkirakan akan terus meningkat pada tahun berikutnya, sehingga

mengakibatkan persediaan minyak bumi yang ada di Indonesia semakin menipis [3].

Eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) sangat baik digunakan dalam pembuatan gas bio dengan beberapa perlakuan awal untuk meningkatkan hasil gas bio. Namun, permasalahan timbul karena biomassa mengandung selulosa dan lignin yang sulit didegradasi akan menyebabkan permasalahan pada proses. Untuk itu hal yang

perlu dilakukan dengan perlakuan khusus untuk mendegradasi lignin [5]. Adapun bahan penyanggah digunakan adalah natrium karbonat (Na_2CO_3). Pre-treatment alkalinitas dengan Natrium Hidroksida (NaOH) bertujuan untuk memutuskan lignin pada eceng gondok dan mempercepat proses hidrolisis sehingga proses pembentukan gas metana lebih cepat, sedangkan penambahan natrium karbonat (Na_2CO_3) bertujuan untuk menetralkan pH pada *slurry* eceng gondok dengan proses anaerobik terhadap gas bio yang dihasilkan dan mempercepat proses pembentukan metana (CH_4) [9, 13].

Dalam penelitian ini maka dipilih pre-treatment kombinasi fisik dan kimia dengan memotong ukuran biomassa lebih kecil dan penambahan bahan kimia untuk melepaskan lignin [4].

Teori

Eceng gondok adalah species *Eichhornia crassipes Solms*, biomassa air yang produksi dan pertumbuhannya sangat pesat di berbagai daerah [4]. Pertumbuhan eceng gondok dapat mencapai 1,9% per hari dengan tinggi antara 0,3-0,5m [14]. Eceng gondok biasanya tumbuh di kolam-kolam dangkal, tanah basah dan rawa, aliran air yang lambat seperti danau, tempat penampungan air dan sungai [24]. Menggunakan eceng gondok sebagai substrat untuk produksi gas bio merupakan strategi pengendalian yang menguntungkan karena dapat meningkatkan invasi tanaman dan produksi gas bio yang produktif [18].

Teknologi pre-treatment/praperlakuan yang dilakukan pada dasarnya adalah untuk mengubah atau memindahkan komposisi dan struktur yang menghalangi proses hidrolisis yang bertujuan untuk meningkatkan laju aktivitas enzimatik dan hasil fermentasi yang menghasilkan glukosa dari selulosa atau hemiselulosa [13].

Gas bio merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang dapat menjawab kebutuhan dan energi alternatif ramah lingkungan yang dapat digunakan sebagai sumber energi penggerak generator listrik dan dibakar seperti gas elpiji (LPG) [10]. Gas bio dapat diproduksi melalui digesti anaerobik dengan bahan kotoran dan limbah. Gas bio yang dihasilkan dapat digunakan sebagai bahan bakar untuk berbagai tujuan seperti memasak serta bisa dikonversi menjadi energi listrik [15]. Prinsip dasar teknologi gas bio adalah proses penguraian bahan-bahan organik oleh mikroorganisme dalam kondisi tanpa udara (anaerob) untuk menghasilkan

campuran dari beberapa gas, di antaranya metana dan CO_2 [19].

Digesti anaerobik dapat dilakukan dengan satu tahap dan dua tahap. Pada proses satu tahap ada empat proses yaitu, hidrolisis, asidogenesis, asetogenesis dan metanogenesis dilakukan pada reaktor yang sama [8]. Konversi bahan organik menjadi gas metana dapat dibagi menjadi empat tahap utama yaitu hidrolisis, asidogenesis, asetogenesis dan metanogenesis [2]. Komponen terbesar yang terkandung dalam gas bio adalah 55 – 70 %, karbon dioksida 27 – 45 % serta sejumlah kecil, nitrogen dan hidrogen sulfida [20].

Metodologi Penelitian

Bahan dan Peralatan

Bahan baku yang digunakan pada penelitian adalah eceng gondok dan air. Bahan pembantu yang digunakan glukosa dan mikroorganisme yang berasal dari kotoran sapi yang di campur dengan air dengan perbandingan 1:1 yaitu 25% dari volume *digester* terisi (2 L). Alat utama yang digunakan adalah *digester* anaerobik.

Prosedur Percobaan

Sampel (eceng gondok) dipotong 2 cm dan dikeringkan, ditreatment dengan NaOH dan H_2SO_4 dicampur air dalam rasio 70:30; 50:50; 30:70 dan 100:0 (w/w), kemudian ditambahkan *starter* (kotoran sapi) yang telah diaklimatisasi serta glukosa. Bahan isian dimasukkan ke dalam *digester* sebanyak 80 % dari volume *digester* (2,5 L) yaitu sebanyak 2L. Selanjutnya difermentasikan hingga tercapai keadaan tunak. Tangki *digester* dihubungkan ke alat pengukur volume gas bio, dimana volume gas diukur setiap tiga hari.

Pada tahap ini percobaan dilakukan pada *digester* anaerobik sistem *batch*. Dengan pH dijaga konstan antara 6,2–8, dan pada temperatur lingkungan (25–30 °C). Diamati parameter-parameter percobaan yaitu pH, *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Total Suspended Solid* (TSS), dan volume gas bio hingga tercapai keadaan tunak, kemudian dilakukan uji nyala. Periode pengamatan dilakukan setiap 3 hari.

Hasil Penelitian

Karakteristik Limbah Eceng Gondok

Nilai COD dan TSS yang besar menunjukkan adanya tingginya kandungan zat organik di dalam limbah eceng gondok. Hal ini menunjukkan bahwa limbah ini bersifat mudah terbiodegradasi untuk dijadikan sebagai salah satu bahan baku pembuatan gas bio [6]. Adapun karakteristik dari limbah eceng gondok sebelum fermentasi dapat dilihat pada Tabel 1.

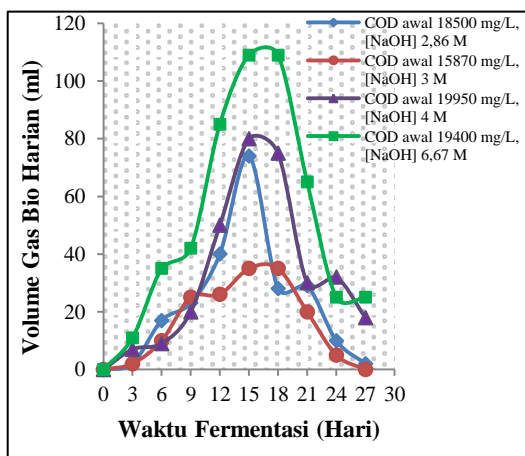
Tabel 1. Karakteristik dari Limbah Eceng Gondok sebelum Fermentasi

Eceng gondok:air	Konsentrasi NaOH (M)	pH	TSS (mg/L)	COD (mg/L)
70:30	6,67	7	3017	19400
50:50	2,86	7	2850	18500
30:70	3,00	6,8	2585	15870
100:0	4,00	7,8	3400	19950

Pembahasan

Pengaruh Waktu Fermentasi terhadap Volume Gas Bio

Dalam penelitian ini dapat dilihat produksi gas bio yang optimum dari berbagai variasi rasio berat limbah padat. Hal ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh proses pre-treatment pada eceng gondok terhadap jumlah gas bio yang dihasilkan. Oleh karena itu, dari Gambar 1 dapat dilihat produksi gas bio pada beberapa komposisi.

**Gambar 1. Pengaruh Waktu Fermentasi terhadap Volume Gas Bio**

Pada Gambar 1 dapat dilihat bahwa pada hari ke-15 menunjukkan volume gas bio yang dihasilkan mengalami peningkatan yang maksimal dari masing-masing komposisi. Hal tersebut karena proses fermentasi anaerob sudah mencapai tahap akhir yaitu tahap metanogenesis untuk menghasilkan gas metana. Apabila bakteri metanogenik telah maksimum, maka bakteri tersebut akan menggunakan hasil dari tahap asidifikasi yaitu asam asetat, karbondioksida, dan hidrogen untuk menghasilkan gas metana [7].

Pada penelitian ini gas bio minimum diperoleh pada konsentrasi NaOH 3 M. Gas bio mulai dihasilkan pada hari ke-3, kemudian pada hari ke -15 menghasilkan gas bio yang maksimum sebesar 80 mL. Sedangkan perolehan gas bio maksimum diperoleh pada konsentrasi

NaOH 6,67 M, gas bio mulai dihasilkan pada hari ke-3 proses fermentasi kemudian mengalami kenaikan hingga menghasilkan gas bio yang maksimum pada hari ke-15 sebesar 109 mL.

Keberhasilan proses metanogenesis dapat diketahui dari tereduksinya COD terlarut [23]. Semakin besar reduksi COD, berarti bahan organik yang terdegradasi menjadi asam-asam organik juga semakin besar. Asam-asam organik inilah yang kemudian terkonversi menjadi gas metan [1]. Dapat dilihat pada grafik COD tertinggi yaitu 19950 mg/L menghasilkan gas bio tertinggi. Sedangkan untuk COD terendah yaitu 15870 mg/L menghasilkan gas bio terendah.

Berdasarkan penelitian terdahulu, eceng gondok dengan proses pre-treatment dengan variabel berubah konsentrasi NaOH blanko, 1% (wt/wt) dan 3% (wt/wt), hasil penelitian pada pre-treatment NaOH 3% menghasilkan volume gas bio dan kadar gas metana paling tinggi daripada NaOH 1% dan blanko. Untuk NaOH 3% volume gas bio yang dihasilkan 20,572 liter gasbio/kg eceng gondok dan kadar metana sebesar 78,47 %. Hal ini dapat terjadi karena NaOH 3% secara signifikan mendegradasi lignin dan mampu melarutkan hemiselulosa sehingga mikroba lebih mudah menghidrolisa selulosa menjadi glukosa dan xylosa yang merupakan sumber karbon organik untuk pertumbuhan mikroba [16]. Dari hasil penelitian ini, diperoleh total gas bio pada COD awal 19400, konsentrasi NaOH 6,67 M dari hari ke-0 hingga hari ke-27 sebesar 506 mL.

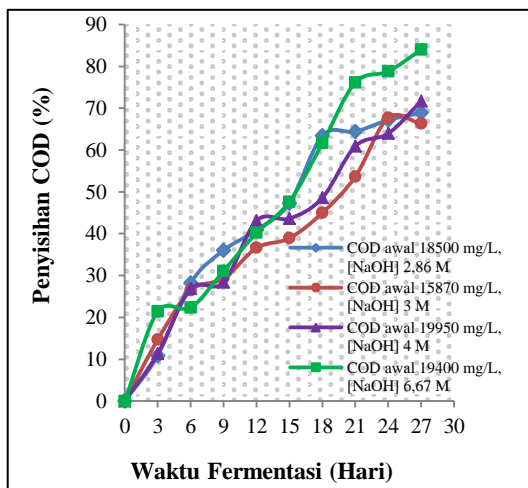
Pada Gambar 1 dapat dilihat bahwa produksi gas bio maksimum pada hari ke-15. Hal ini menunjukkan bahwa bakteri metanogenik bekerja secara maksimum pada hari ke-15. Pada fase permulaan (penyesuaian), bakteri pembentuk gas bio baru menyesuaikan diri dengan lingkungan yang baru, sehingga sel belum membelah diri dan produksi gas cenderung rendah. Pada fase pertumbuhan yang dipercepat, jumlah bakteri mulai meningkat dan kemudian jumlahnya menurun pada fase stasioner (kematian), dimana bakteri mulai kekurangan nutrisi dan mengalami kematian sehingga produksi gas bio cenderung konstan dan mulai menurun [17].

Berdasarkan penelitian terdahulu, tanpa proses pre-treatment dibutuhkan waktu 31 hari [4]. Dalam penelitian ini proses pembentukan gas bio diamati dalam waktu 27 hari karena gas bio maksimum pada hari ke-18 dan menurun dalam waktu 27 hari tersebut. Oleh karena itu, pembuatan gas bio dengan proses pre-treatment memiliki potensi yang cukup bagus dibandingkan tanpa pre-treatment dari segi

waktu yang singkat sehingga, biaya yang dikeluarkan lebih sedikit.

Pengaruh Waktu Fermentasi terhadap Persentase Penyisihan COD

COD menjadi salah satu perhatian penting dalam penelitian ini karena berpengaruh terhadap lingkungan saat sampel dibuang ke lingkungan. Persen penyisihan COD dapat dilihat dari Gambar 2.



Gambar 2. Pengaruh Waktu Fermentasi terhadap Persentase Penyisihan COD

Pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa persentase penyisihan COD pada beberapa konsentrasi NaOH cenderung semakin meningkat. Pada penelitian ini persentase penyisihan COD maksimum terjadi pada konsentrasi NaOH 6,67 M dan COD awal 19950 mg/L hari ke-27, dengan nilai COD sebesar 2850 dan persen penyisihan COD sebesar 83,96%. Dan penyisihan COD minimum terjadi pada konsentrasi NaOH 3 M dan COD awal 15870 mg/L hari ke-27, dengan nilai COD sebesar 4965 dan persen penyisihan COD sebesar 66,29%. Dapat dilihat bahwa nilai molaritas NaOH yang tinggi akan mempengaruhi persentase penyisihan COD yang semakin meningkat.

Nilai COD yang sangat besar menunjukkan bahwa dalam rentang waktu tersebut banyak bahan organik dan yang dirombak oleh bakteri. Jadi semakin besar nilai kandungan COD maka kandungan zat organik dalam limbah semakin tinggi atau semakin besar jumlah penyisihan COD [11].

Penyisihan COD yang rendah disebabkan beberapa hal, yaitu bahan organik pada tahap asidifikasi dirombak menjadi asam yang selanjutnya dirombak menjadi metana pada tahap metanogenesis. Semakin besar bahan organik

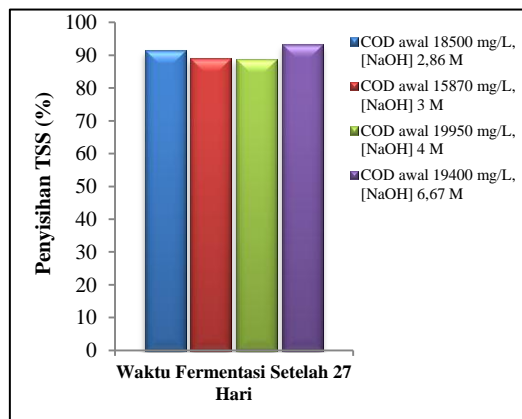
yang dirombak menjadi asam (VFA) dan melebihi kemampuan bakteri metanogen akan mengakibatkan proses metanogenesis terhambat dan penyisihan COD kurang maksimal [14].

Hasil penelitian menunjukkan pada beberapa komposisi sampel persentase penyisihan COD terus meningkat setelah hari ke-15 dimana produksi gas bio maksimum. Dapat dikatakan pada saat produksi gas bio optimum telah dicapai, bakteri tetap mampu mendegradasi senyawa organik meskipun volume gas bio menurun. Oleh karena itu hasil penelitian yang diperoleh belum sesuai dengan teori yang ada.

Menurut SK KEMEN LH No.1815/2014 tentang baku mutu air limbah bahwa limbah belum layak dilepaskan ke perairan lepas, apabila nilai CODnya lebih besar dari pada 100 mg/L. Pada penelitian ini, nilai COD terendah dihasilkan pada konsentrasi NaOH 6,67M dimana jumlah COD sebesar 2850 mg/L dengan persentase penyisihan COD sebesar 83,96% pada hari ke-27.

Pengaruh Waktu Fermentasi terhadap Persentase Penyisihan TSS

Pengaruh waktu fermentasi terhadap persentase penyisihan TSS pada beberapa rasio limbah eceng gondok:air. TSS merupakan partikel yang tersuspensi didalam air limbah, dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Pengaruh Waktu Fermentasi terhadap Persentase Penyisihan TSS

Pada Gambar 3 dapat dilihat bahwa semakin lama waktu fermentasi maka persen penyisihan TSS akan semakin besar dan cenderung berfluktuasi dengan jumlah limbah padat yang semakin besar pula.

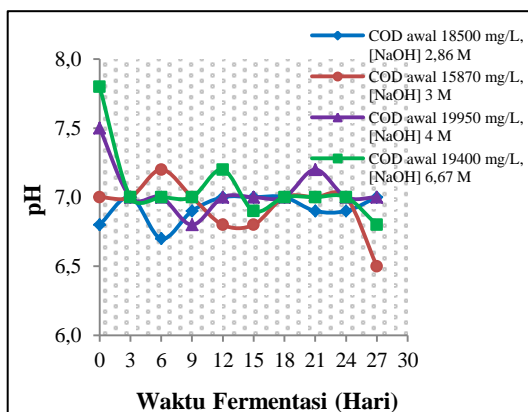
Persentase penyisihan TSS maksimum pada penelitian ini diperoleh pada konsentrasi NaOH 6,67 M, dapat dilihat bahwa persen penyisihan

TSS terbesar terjadi pada hari ke-27 yaitu 93,23%. Untuk persentase penyisihan minimum diperoleh pada konsentrasi NaOH 4 M persen penyisihan TSS juga terjadi pada hari ke-18 yaitu sebesar 81,48%.

Menurut SK KEMEN LH No.1815/2014 limbah belum layak dilepaskan ke perairan lepas, apabila nilai TSS nya lebih besar dari 200 mg/L. Pada penelitian ini, jumlah TSS yang paling maksimum yaitu pada konsentrasi NaOH 6,67 M dengan jumlah gas bio tertinggi dimana jumlah TSS sebesar 193 mg/L dengan persentase penyisihan TSS sebesar 93,23% pada hari ke-27, sehingga nilai TSS tersebut memenuhi syarat kelayakan limbah untuk dilepaskan ke perairan lepas atau ke lingkungan sekitar. Berdasarkan penelitian terdahulu, nilai TSS akhir pada eceng gondok tanpa pre-treatment adalah sebesar 1,47 g/L atau 1470 mg/L [21]. Hal ini berarti proses pre-treatment alkali dan asam mengakibatkan nilai TSS lebih rendah daripada tanpa proses pre-treatment.

Pengaruh Waktu Fermentasi terhadap Derajat Keasaman (pH) Pada Beberapa Komposisi Sampel

Adapun grafik di bawah ini menunjukkan hasil penelitian pengaruh waktu fermentasi terhadap derajat keasamaan (pH) dari berbagai variasi rasio berat limbah padat .



Gambar 4 Grafik Hubungan Waktu Fermentasi Terhadap Derajat Keasamaan (pH)

Dari Gambar 4 dapat dilihat bahwa pH pada beberapa perbandingan komposisi sampel mengalami fluktuasi. Pada konsentrasi NaOH 6,67 M pH awal fermentasi bernilai 7,8 hal ini terjadi karena tingginya konsentrasi NaOH yang digunakan, namun pH kembali normal pada hari ke-3 karena adanya penambahan larutan *buffer* dan mengalami fluktuasi pada rentang pH 6,8-7,8. Adanya penambahan *buffer* natrium karbonat sangat berperan penting dalam menjaga

pH larutan selama proses fermentasi. Pada konsentrasi NaOH 2,86 M, pH awal fermentasi bernilai 6,8 dan mengalami fluktuasi hingga hari ke-27, rentang pH yang terjadi pada proses ini adalah 6,8-7. Untuk konsentrasi NaOH 3 M, pH awal fermentasi bernilai 6,8 dan mengalami penurunan hingga hari ke-27, rentang pH yang dialami pada proses ini adalah 6,8-7. Untuk konsentrasi NaOH 4M, pH awal fermentasi bernilai 7 dan mengalami fluktuasi pada rentang pH 6,5-7,2 selama proses fermentasi. Pada penelitian ini, pH paling stabil terjadi pada konsentrasi NaOH 6,67 M, sedangkan pada konsentrasi yang lebih tinggi dari 6,67 M pH yang terjadi kurang stabil.

Peningkatan pH optimum akan memacu proses pembusukan, sehingga meningkatkan efektivitas kerja mikrobial dan dapat meningkatkan produksi gas bio. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa pH substrat awal 7 dengan penambahan memberikan peningkatan laju produksi gas bio lebih baik dibandingkan dengan perlakuan pH yang lain [22]. Dari hasil penelitian ini untuk menjaga pH netral ditambahkan larutan *buffer* natrium karbonat, dimana dapat dilihat pada konsentrasi NaOH 6,67 M pada hari 15 dan 18 diperoleh volume gas yang meningkat sebesar 85 ml ke 109 ml dari pH 6,9 ke pH 7.

Kegagalan proses pencernaan anaerobik dalam *digester* gas bio dikarenakan tidak seimbangnya populasi bakteri metanogenik terhadap bakteri asam yang menyebabkan lingkungan menjadi sangat asam (pH kurang dari 7) dan menghambat kelangsungan hidup bakteri metanogenik. Kondisi keasaman yang optimal pada pencernaan anaerobik yaitu sekitar pH 6,8 sampai 8, laju pencernaan akan menurun pada kondisi pH yang lebih tinggi atau rendah [20].

Hasil Uji Nyala Gas Bio

Hasil uji nyala gas bio pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2. Hasil uji nyala gas bio Beberapa Perbandingan Sampel

Eceng gondok :air	Konsentrasi NaOH (M)	Hasil Uji Nyala
70:30	6,67	Api berwarna biru
50:50	2,86	Api berwarna biru
30:70	3,00	Api berwarna biru
100:0	4,00	Api berwarna biru

Uji pembakaran yang menunjukkan bahwa gas berwarna biru ini menandakan api cukup bagus untuk dimanfaatkan sebagai sumber

energi. Hasil uji pembakaran menunjukkan bahwa semua gas hasil fermentasi pada setiap variabel dapat dibakar dan mengandung metana (CH_4) [22], dimana metana (CH_4) adalah komponen penting dan utama dari gas bio karena memiliki kadar kalor yang cukup tinggi dan jika gas yang dihasilkan dari proses fermentasi anaerob ini dapat terbakar, hal ini menunjukkan bahwa sedikitnya mengandung 45% metana. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan nyala api membuktikan berwarna biru. Apabila gas yang dihasilkan adalah CO_2 , api yang dinyalakan akan mati [3].

Kesimpulan

Semakin besar jumlah limbah padat maka semakin besar jumlah volume gas bio dan penyisihan TSS. Volume gas bio dan penyisihan TSS maksimum diperoleh pada rasio eceng gondok: air 70:30 (v/v) dengan konsentrasi NaOH 6,67 M pada hari ke-27 dengan volume total gas bio sebesar 506 mL dan penyisihan TSS 93,23%. Hasil analisa uji nyala gas bio pada setiap variasi menunjukkan nyala api biru yang menandakan gas metana lebih dari 45%. Proses pre-treatment natrium hidroksida dan asam sulfat pada bahan baku mengakibatkan waktu fermentasi lebih cepat (27 hari). Untuk volume gas bio dan penyisihan TSS maksimum tanpa pre-treatment diperoleh pada rasio 75:25 pada hari 31 dengan volume total gas bio sebesar 319 mL dan penyisihan TSS 93,79%.

Daftar Pustaka

- [1] A. A. Fikri dan S. R. Muria, Pengaruh Perbandingan Eceng Gondok dengan Air Terhadap Penyisihan COD dan Padatan pada Produksi Biohidrogen Secara Fermentasi Anaerob Batch Tahap Asidogenesis, *Jurnal Jom Fteknik*, Volume 2 No. 2, 2015.
- [2] A. D. Broughton, Hydrolysis And Acidogenesis of Farm Dairy Effluent for Biogas Production at Ambient Temperatures, Thesis for The Degree of Master of Engineering in Environmental Engineering, Massey University, Palmerston North, New Zealand, 2009.
- [3] A. F. Utomo dan N. Primastuti, Pemanfaatan Limbah Furniture Eceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*) di Koen Gallery Sebagai Bahan Dasar Pembuatan Briket Bioarang, *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*, Vol.2, No.2. Hal: 220-225, 2013.
- [4] A. U. Ofoefule., E. O. Uzodinma and O. D. Onukwuli, Comparative Study of The Effect of Different Pre-Treatment Methods on Biogas Yield from Water Hyacinth (*Eichhornia Crassipes*), *International Journal of Physical Sciences* Vol. 4 (8), pp. 535-539, 2009.
- [5] C. W. Yuwono dan T. Soehartanto, Perancangan pada Sistem Pengaduk Bioreaktor Batch Untuk Meningkatkan Produksi Gas Bio, *Jurnal Teknik Pomits* Vol. 2, No. 1, 2013.
- [6] D. Clinton, Pengaruh Waktu Fermentasi dan Komposisi Limbah Kulit Buah Aren (*Arenga Pinnata*) dengan Starter Kotoran Sapi Terhadap Gas Bio yang Dihasilkan, *Jurnal Teknik Kimia USU*, Vol. 4, No. 3, 2015.
- [7] D. Dieter and A. S. hauster, Biogas from Waste and Renewable Resources, An Introduction (Singapore: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim), 2008.
- [8] D. Krishna and A. S. Kalamdhad, Pre-Treatment and Anaerobic Digestion of Food Waste for High Rate Methane Production – A Review, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, Vol 2, 2014.
- [9] D. Padmono, Kemampuan Alkalinitas Kapasitas Penyangga (Buffer Capacity) dalam Sistem Anaerobik Fixed Bed, *Jurnal Teknik Lingkungan*, 8 (2): 119-127, 2007.
- [10] E. Sari., S. Syamsiah., H. Sulistyo and M. Hidayat, Effect Of Mn^{2+} Addition on Delignification of Water Hyacinth Using *Phanerochaete Chrysosporium*, *Modern Applied Science*, Vol. 9, No. 2, 2015.
- [11] E. Suriadi, Pengaruh Konsentrasi COD Terhadap Efektivitas Pengolahan Air Limbah Secara UASB, *Bulletin Penelitian*, Vol. XIX, No. 1, 1997.
- [12] F. Agustina, Aplikasi Parameter Produk Gas Bio dari Limbah Cair Industri Tapioka dalam Bioreaktor Anaerobik 2 Tahap, *Magister Teknik Kimia*, Universitas Diponegoro, Semarang, 2012.
- [13] F. Amriani, Praperlakuan Fisik dan Biologi Terhadap Biomassa Eceng Gondok Untuk Produksi Enzim Selulase oleh *Aspergillus Niger* dan *Trichoderma Reesei*, Skripsi, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara, Medan, 2013.
- [14] Farida, Pemanfaatan Serat Eceng Gondok dan Kitosan Sebagai Bahan Baku Untuk Pembuatan Poly Lactic Acid Sebagai Kemasan Ramah Lingkungan, Skripsi, Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sumatera Utara, Medan, 2012.

- [15] G. A. GmbH, Biogas Purification and Assessment Of The Rural Gas Grid, Austria, Leitnitz, 2008.
- [16] J. Abdillah dan G. R. Mahadin, Hidrolisa Basa dalam Pre-Treatment Produksi Gas Bio dengan Bahan Baku Eceng Gondok, Skripsi, Jurusan Teknik Kimia, Institut Teknologi Semarang, 2011.
- [17] L. N. Hakim., Nurwantoro dan A. Purnomoadi, Gas Production and Bio-Digester Gas Production Rate with Addition of Rice Husks Into Cattle Feces as Raw Material, Animal Agriculture Journal, Vol. 1. No. 2, p 342 – 351, 2012.
- [18] O. Almoustaph., S. Kenfack and J. M. Rasolodimby, Biogas Production Using Water Hyacinths to Meet Collective Energy Needs in A Sahelian Country, Published by Copernicus Publications on behalf of the Institut Veolia Environnement, Field Actions Sci. Rep., 2, 27–32, 2009.
- [19] S. Wahyuni, Gas Bio Energi Terbarukan Ramah Lingkungan dan Berkelanjutan, Kongres Ilmu Pengetahuan Nasional (KIPNAS) ke 10, Jakarta, 2011.
- [20] T. Haryati, Gas Bio : Limbah Peternakan yang Menjadi Sumber Energi Alternatif, Balai Penelitian Terna/ PO Box 221, Bogor, 2006.
- [21] W. Panggih, Produksi Gas Bio dari Eceng Gondok, Seminar Tesis Program Magister, Teknik Lingkungan ITS, 2011.
- [22] Wagiman, Identification of Potential Biogas Production from Tofu Wastewater With Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor (UASB), Bioteknologi4 (2): 41-45, 2007.
- [23] Y. D. Yenni, Uji Pembentukan Substrat dari Substrat Sampah Sayur dan Buah dengan Ko-Substrat Limbah Isi Rumen Sapi, Jurnal Teknik Lingkungan UNAND 9 (1): 26-36, 2012.
- [24] Y. S. Dewi, Efektivitas Jumlah Rumpun Tanaman Eceng Gondok (Eichhornia Crassipes) dalam Pengendalian Limbah Cair Domestik, Jurnal Riset Industri Vol. V, No.2, Hal 131-142, 2011.