

Uji Potensi Biogas Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) dengan Jeroan Ikan Patin (*Pangasius sp.*) dan Kotoran Kuda

*Evaluation of The Biogas Potential of Water Hyacinth (Eichornia crassipes) with Catfish (Pangasius sp.)
Viscera and Horse Manure*

Multi Idola Tricia, Indah Widiastuti*, Susi Lestari

Program Studi Teknologi Hasil Perikanan

Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya, Indralaya, Ogan Ilir 30662 Sumatera Selatan

Telp./Fax. (0711) 580934

*)Penulis untuk korespondensi: indah_qw@yahoo.com

ABSTRACT

This research used randomized block design with 2 repetitions as the group and five treatments. The treatments were the percentage of horse manure (KK) and waste catfish (LP): A₁ KK (100%), A₂ KK (75%) + LP (25%), A₃ KK (50%) + LP (50%), A₄ KK (25%) + LP (25%) and A₅ LP (100%). The parameters observed were volume of biogas, biogas production rate and parameters on slurry includes pH, temperature, total solid, chemical oxygen demand and the ratio C/N. The results showed that the high volume of biogas produced by A₁ was equal to 4,206.5 mL with a pH of 7.62 and 4.29% and a total solid ratio C/N 30.02. Biogas produced ranged between 520 to 4,206.5 mL. The acidity ranged from 7.62 to 6.23. The resulting temperature ranged from 29.56 to 30.79 °C. Total solid produced ranged between 4.29 to 5.66%. Chemical oxygen demand generated ranged from 55,880.5 to 117,361.1 mg/kg. Ratio C/N produced ranged from 7.29 to 30.02. The addition viscera of catfish effected on changed in pH, total solid, ratio C/N and the amount of biogas produced.

Keywords: Biogas, catfish, horse manure, water hyacinth

ABSTRAK

Penelitian ini menggunakan metode rancangan acak kelompok (RAK), dengan 2 ulangan sebagai kelompok dan 5 perlakuan. Persentase perlakuan dari kotoran kuda (KK) dan limbah ikan patin (LP) adalah A₁ KK (100%), A₂ KK (75%) + LP (25%), A₃ KK (50%) + LP (50%), A₄ KK (25%) + LP (75%) dan A₅ LP (100%) dengan volume 1 L dan waktu pemeraman 60 hari. Parameter yang diamati meliputi volume biogas, laju pembentukan biogas dan parameter pada *slurry* meliputi pH, suhu, *total solid*, *chemical oxygen demand* dan rasio C/N. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jumlah biogas tertinggi dihasilkan oleh perlakuan A₁ yaitu sebesar 4.206,5 ml dengan pH 7,62 serta *total solid* 4,29% dan rasio C/N 30,02. Biogas yang dihasilkan berkisar antara 520-4206,5 mL. pH yang dihasilkan berkisar antara 7,62-6,23. Suhu yang dihasilkan berkisar antara 29,56-30,79 °C. *Total solid* yang dihasilkan berkisar antara 4,29%-5,66%. *Chemical oxygen demand* yang dihasilkan berkisar antara 55.880,5–117.361,1 mg/kg. Rasio C/N yang dihasilkan berkisar antara 7,29-30,02. Penambahan jeroan ikan patin berpengaruh terhadap perubahan pH, *total solid*, rasio C/N dan jumlah biogas yang dihasilkan.

Kata kunci: Biogas, eceng gondok, kotoran kuda, limbah padat ikan patin

PENDAHULUAN

Produksi ikan patin di Indonesia terus menunjukkan peningkatan setiap tahunnya, sehingga pemerintah menargetkan produksi ikan patin lokal mencapai 1.107.000 ton pada tahun 2013 (Kementrian Perdagangan 2013). Ikan patin sebagian besar di pasarkan dalam bentuk utuh maupun fillet. Pengolahan fillet dengan bahan baku ikan menghasilkan rendemen sekitar 45%, bagian lainnya termasuk isi perut, lemak abdomen, tulang,

kulit dan hasil perapian (*trimming*) belum dimanfaatkan secara optimal (Sathivel *et al.* 2003).

Menurut Harahap *et al.* (2013) limbah padat ikan patin terkadang dijadikan pakan untuk budidaya ikan patin, tetapi jumlahnya tidak banyak. Padahal dengan teknologi yang ada sekarang, limbah padat ikan patin memungkinkan untuk diolah agar lebih bermanfaat dan bernilai ekonomis. Salah satu pemanfaatan limbah ikan patin yaitu untuk pembuatan biodiesel (Harahap *et al.* 2013).

Pada penelitian Hastarini *et al.* (2012) dengan memanfaatkan limbah ikan patin untuk menghasilkan minyak ikan, menghasilkan asam lemak dominan berupa asam palmitat dan oleat.

Menurut Kassuwi *et al.* (2012) pencernaan secara anaerob merupakan cara yang tepat untuk pengolahan limbah ikan karena protein, lemak dan konsentrasi bahan organik yang tinggi, jadi dapat menyebabkan tingginya potensi produksi metana. Pada kondisi anaerob limbah ikan dapat terurai menghasilkan biogas yang dapat digunakan sebagai sumber energi terbarukan.

Biogas dihasilkan dengan merombak bahan organik oleh mikroorganisme anaerob. Bahan-bahan yang digunakan untuk memproduksi biogas biasanya dikelompokkan sebagai material limbah seperti kotoran manusia, kotoran hewan, limbah sayuran atau tumbuhan dan limbah lumpur organik. Menurut Widodo (2006), kandungan nutrisi utama untuk bahan pengisi biogas adalah nitrogen, fosfor dan kalium. Kandungan nitrogen dalam bahan sebaiknya sebesar 1,45%, sedangkan fosfor dan kalium masing-masing sebesar 1,10%. Nutrien utama tersebut dapat diperoleh dari substrat kotoran ternak dan sampah daun yang dapat meningkatkan ratio C/N dalam biogas. Hasil penelitian Mönch-Tegeder *et al.* (2013) menunjukkan bahwa kotoran kuda adalah substrat yang baik untuk produksi biogas karena memiliki rasio C/N yang optimal yaitu 23,71. Menurut Salam *et al.* (2009), biogas yang dihasilkan dari limbah ikan dan kotoran sapi dengan perbandingan 1:1,2 menghasilkan gas terbesar sebanyak 2 L/kg limbah. Tomczak-wandzel dan Levlín (2013), menyatakan bahwa hasil dari campuran lumpur aktif dengan usus ikan memberikan kandungan metan sebanyak 2000 mL CH₄.

Penambahan substrat berupa tumbuhan air dapat meningkatkan hasil biogas. Menurut Astuti (2013), pada biogas dari eceng gondok dan kotoran sapi yang optimal adalah perbandingan 2:2,5 sedangkan pada perbandingan 2:1 memiliki volume biogas yang lebih rendah. Pertumbuhan eceng gondok yang merupakan jenis gulma

dapat mencapai 1,9% per hari dengan tinggi antara 0,3-0,5 m (Yonathan 2013). Pertumbuhannya yang begitu pesat menyebabkan eceng gondok telah berubah menjadi tanaman gulma perairan. Pada penelitian lainnya, eceng gondok dapat dimanfaatkan dalam produksi biogas karena mempunyai kandungan hemiselulosa yang cukup besar dibandingkan komponen organik tunggal lainnya (Yonathan 2013). Seluruh tumbuhan dan hewan disebut biomassa yang merupakan kumpulan bahan biologis di muka bumi. Pengaplikasian biomassa dalam kehidupan sehari-hari digunakan untuk menghasilkan listrik, panas, cahaya gerak dan bahan bakar (Sukmana dan Muljatiningrum 2011). Merubah energi biomassa menjadi energi yang dapat dipakai memberikan keuntungan bagi lingkungan karena prosesnya memanfaatkan material sisa yang biasanya mencemari lingkungan.

Tujuan penelitian ini adalah menentukan potensi substitusi limbah jeroan ikan patin dengan ratio yang berbeda terhadap biogas yang dihasilkan, serta pengaruhnya terhadap karakteristik biogas yang dihasilkan.

BAHAN DAN METODE

Bahan dan Alat

Bahan dan alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu limbah ikan patin (usus), eceng gondok, aquades, kotoran kuda, lem besi, larutan *buffer*, H₂SO₄, NaCl, K₂Cr₂O₇, NaOH, H₃BO₃ dan HCl, digester silinder 1 L, drigen 5 L, gelas ukur 250 mL, gelas ukur 100 ml, gelas baker 500 ml, gelas beaker 1000 ml, hot plate, tabung reaksi, corong kaca, batang pengaduk, labu takar, cawan porseline, infuse set, *rubber stopper*, *erlenmeyer*, *pH meter*, *thermometer*, *magnetic stirrer*, spatula, blender, oven, dan neraca analitik.

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode rancangan acak kelompok (RAK), dengan ulangan sebagai kelompok dan 5 taraf perlakuan. Masing-masing perlakuan diulang sebanyak 2 kali.

Perlakuan yang digunakan adalah:

A1= KK (100%)

A2= KK (75%) + LP (25%)

A3= KK (50%) + LP (50%)

A4= KK (25%) + LP (75%)

A5= LP (100%)

Keterangan: Kotoran Kuda (KK), Limbah Patin (LP)

Tabel 1. Komposisi bahan baku isian (*slurry*).

Digester	KK (gr)	LP (gr)	Air (ml)	EG (ml) 1:3	Vol. <i>Slurry</i> (ml)
A ₁	200	-	400	400	1000
A ₂	150	50	400	400	1000
A ₃	100	100	400	400	1000
A ₄	50	150	400	400	1000
A ₅	-	200	400	400	1000

Pengambilan dan Preparasi Limbah Padat Ikan Patin

Pengambilan sampel diperoleh dari pasar tradisional di Indralaya Kabupaten Ogan Ilir. Lokasi pengambilan sampel pada pedagang yang menjual ikan patin. Sampel dibersihkan menggunakan air mengalir dari komponen - komponen pengotor. Sampel yang telah bersih selanjutnya ditiriskan. Sampel tersebut kemudian ditimbang sesuai dengan kebutuhan yang diperlukan.

Pengambilan dan Preparasi Kotoran Kuda

Kotoran kuda diambil langsung dari bekas tempat penggemuakan sapi di Tanjung Seteko, Indralaya. Sampel yang diambil merupakan kotoran yang masih segar. Kotoran kuda yang telah diambil kemudian dibersihkan dari kotoran yang menempel. Selanjutnya kotoran kuda ditimbang sesuai dengan jumlah yang dibutuhkan.

Pengambilan dan Preparasi Kotoran Kuda

Eceng gondok diambil langsung dari perairan rawa di Komperta Indralaya. Bahan diambil dengan ukuran yang sama yaitu dengan lebar daun kurang dari 10 cm. Eceng gondok yang telah diambil kemudian dicuci dan ditiriskan untuk menghilangkan air yang menempel pada bahan. Selanjutnya eceng gondok dicacah dan ditimbang sesuai dengan jumlah yang dibutuhkan.

Pembuatan *Slurry*

Proses pembuatan *slurry* ini yaitu dengan mencampurkan limbah ikan dan eceng gondok kedalam blender lalu ditambahkan aquadest sesuai dengan takaran yang telah ditentukan. Hasil blender tersebut di masukan kedalam baskom yang telah ditambahkan kotoran kuda didalamnya, lalu diaduk hingga homogen.

Parameter Pengujian

Parameter yang digunakan pada penelitian ini adalah analisis kualitas pada *slurry* berupa pH, suhu, *total solid*, COD dan rasio C/N. Parameter pada biogas adalah laju pembentukan biogas, volume biogas dan uji nyala.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik *Slurry*

Analisa karakteristik awal *slurry* digunakan sebagai pembandingan terhadap karakteristik akhir *slurry*. Analisa ini dilakukan sebelum *slurry* dimasukan kedalam digester. Menurut Limbong (2016), karakterisasi di awal juga dapat dijadikan acuan untuk mengetahui sifat limbah yang baik untuk produksi biogas, hal ini dikarenakan limbah belum mendapat perlakuan. Selain itu, Analisis karakteristik *slurry* awal dilakukan untuk mengetahui kualitas substrat dalam memproduksi biogas. Karakteristik yang diuji meliputi nilai pH, C/N, COD dan TS.

Derajat Keasaman (pH)

Derajat keasaman (pH) merupakan tingkat keasaman atau basa yang dimiliki oleh suatu bahan. Pada Tabel 2 dapat dilihat karakteristik pH *slurry* awal. Nilai pH pada penambahan limbah ikan patin berkisar 7,62-6,23. Menurut Igoni *et al.* (2008), biodegradasi anaerobik dapat berjalan dengan baik pada rentang pH 6-8.

Pada *slurry* awal, perlakuan A₁ memiliki keasaman yang paling rendah dibandingkan perlakuan yang lain. Perlakuan A₅ memiliki tingkat keasaman yang tinggi, dikarenakan komposisi substrat menggunakan limbah jeroan ikan patin paling

banyak dari perlakuan yang lain. Penambahan limbah jeroan ikan patin berpengaruh terhadap perubahan pH *slurry* awal. Semakin bertambahnya jumlah limbah jeroan ikan patin yang ditambahkan, semakin asam kandungan *slurry* awal. Menurut Hossain dan Alam (2015), menyatakan bahwa limbah jeroan ikan memiliki pH $6.21 \pm 0,07$. Pratama (2015) menyatakan nilai pH awal *slurry* dengan bahan baku limbah ikan dan gulma akuatik berupa kiambang (2:1) yaitu 6,33.

Tabel 2. Derajat keasaman *slurry*.

Perlakuan	<i>Slurry</i> Awal	<i>Slurry</i> Akhir
A ₁	7,62	7,49 ^b
A ₂	7,17	7,05 ^b
A ₃	6,56	6,16 ^a
A ₄	6,38	6,3 ^a
A ₅	6,23	6,58 ^{ab}

Pada Tabel 2. diatas dapat dikatakan bahwa pada akhir *slurry*, pH mengalami penurunan pada perlakuan A₁, A₂, A₃ dan A₄, sedangkan untuk perlakuan A₅ mengalami peningkatan. Menurut Ratnaningsih *et al.* (2009), penelitian dengan perbandingan kotoran sapi dan sampah organik (1:0) terjadi penurunan dari pH awal 6,25 dan pH akhir 5,91. Perbandingan kotoran sapi dan sampah organik (0:1) terjadi peningkatan dari pH awal 5,32 dan pH akhir 6,42. Penurunan pH di akhir penelitian diduga karena masih berlangsungnya tahap asetogenik (tahap pembentukan asam) pada substrat, sedangkan kenaikan pH pada akhir penelitian disebabkan karena kurangnya bakteri dalam substrat tanpa pencampuran kotoran sapi (Ratnaningsih *et al.* 2009).

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perlakuan penambahan limbah jeroan ikan patin berpengaruh nyata pada taraf uji 5% terhadap pH akhir *slurry*. Tabel 2 menunjukkan bahwa perlakuan A₃ dan A₄ berbeda nyata terhadap perlakuan A₁ dan A₂, tetapi perlakuan A₅ berbeda tidak nyata terhadap semua perlakuan lainnya. Proses dekomposisi anaerob pada digester memiliki beberapa langkah, seperti *hydrolysis*, *acidogenesis*, *acetogenesis* dan *methanogenesis*. Pada tahap acidogenesis dan acetogenesis akan terbentuk asam lemak volatil yang akan menurunkan pH dalam digester. Gerardi (2003)

menambahkan pada tahap dari proses asetogenesis, melibatkan konversi asam volatil dan alkohol menjadi substrat seperti asetat (CH₃COOH) dan gas hidrogen yang dapat digunakan oleh bakteri pembentuk metana. Menurut Rahman (2007), antara nilai VFA dengan pH memiliki korelasi yaitu perubahan nilai VFA akan diikuti oleh perubahan nilai pH. Solli *et al.* (2014) menambahkan bahwa kotoran sapi memiliki lemak 0,6 (%w/w) dan limbah silase ikan 19,4 (%w/w).

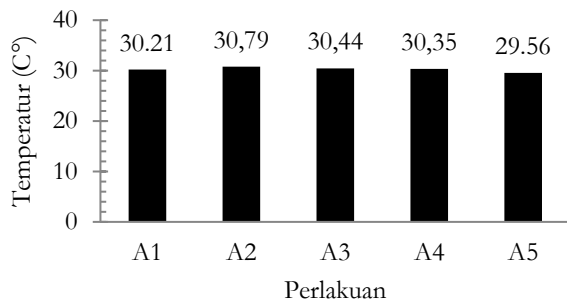
Peningkatan nilai pH disebabkan oleh amonia, yang dihasilkan selama proses degradasi protein atau dengan penambahan amonia dalam aliran umpan, sementara akumulasi VFA menurunkan nilai pH (Seadi *et al.* 2008). Menurut Shi (2012), secara umum pH optimal dalam reaktor anaerob adalah 5,5-8,5. Akan tetapi bakteri metanogenik lebih sensitif terhadap pH dibandingkan bakteri lain. Bakteri metanogenik hidup baik pada pH 7,0-8,0 (Seadi *et al.* 2008). Gerardi (2003) menambahkan bahwa kondisi operasional untuk aktifitas yang dapat diterima oleh bakteri pembentuk metana pada kondisi pH 6,8-7,2.

Suhu

Suhu memiliki peranan penting dalam proses digester. Proses pembentukan biogas memerlukan mikroorganisme dalam mengurai substrat. Mikroorganisme seperti halnya sistem biologis lain, sehingga memiliki respon terhadap perubahan suhu yang mempengaruhi perubahan laju reaksi. Mereka memerlukan kondisi tertentu dalam lingkungan digester seperti temperatur, jumlah keasaman dan banyaknya material organik. Seadi *et al.* (2008) mengatakan bahwa, proses pembentukan biogas dapat berlangsung pada temperatur yang berbeda, dibagi dalam tiga kategori berkisar: *psychrophilic* (>25 °C), *mesophilic* (25 °C - 45 °C) dan *thermophilic* (45 °C - 70 °C).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa temperatur *slurry* selama proses pembentukan biogas didalam digester berkisar 29,56 °C sampai dengan 30,79 °C. Nilai rata-rata temperatur *slurry* didalam *digester* selama

proses pembentukan biogas dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Temperatur *slurry* selama proses *anaerobic digestion*.

Analisis keragaman menunjukkan bahwa perlakuan penambahan limbah ikan patin tidak berpengaruh nyata terhadap temperatur *slurry* selama proses *anaerobic digestion*. Sehingga hal tersebut dapat menunjukkan tidak adanya pengaruh dalam penambahan limbah ikan patin terhadap temperatur pada *slurry*. Proses fermentasi secara anaerob yang terjadi pada uji potensi biogas dengan perlakuan penambahan gulma akuatik berada dalam kisaran temperatur 27-30 °C (Limbong 2016).

Temperatur *slurry* selama 60 hari dapat dilihat pada Gambar 4.1. Berdasarkan gambar diatas dapat disimpulkan bahwa temperatur *slurry* berkisar antara 29,56 - 30,79 °C dan masuk dalam kategori *mesophilic* (25 °C - 45 °C). Pada penelitian Abimbola dan Olumide (2014), suhu yang dihasilkan pada produksi biogas dari limbah makanan berfluktuasi antara 27 °C dan 31 °C. Gerardi (2003) menambahkan bahwa ada dua suhu optimal pada pencernaan anaerob dari padatan. Bakteri pembentuk asam memiliki suhu optimum pada 30 °C dan bakteri pembentuk metana memiliki suhu optimum pada 35 °C (mesofilik).

Menurut Shi (2012), temperatur yang lebih tinggi dapat membantu tingkat degradasi bahan organik dan pertumbuhan bakteri. Namun, ada beberapa kelemahan dalam suhu yang lebih tinggi, seperti (H₂, NH₃ dan CO₂) menjadi rendah yang mengarah ke penghambatan proses metanogenesis dan konsumsi energi yang lebih tinggi (Appels et al. 2008). Purnomo (2010) mengatakan bahwa kelompok substrat

suhu kamar memiliki rentang suhu antara rata-rata antara 29,9 - 31,9 °C dan kelompok substrat suhu tinggi memiliki rentang suhu antara: 45,2 - 45,6 °C.

Total Solid

Total solid atau padatan total adalah jumlah padatan yang terkandung dalam suatu bahan. Ditambahkan oleh Krisye (2015) *total solid* dapat digunakan untuk mengetahui bahan-bahan organik dan anorganik yang terakumulasi di dalam digester yang merupakan sumber makanan bagi mikroorganisme. Nilai rata-rata *total solid* dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Karakteristik *total solid* (%).

Perlakuan	<i>Slurry</i> Awal	<i>Slurry</i> Akhir	<i>Removal</i>
A ₁	4,29	2,2 ^a	48,71%
A ₂	4,33	2,46 ^b	43,19%
A ₃	4,63	3,9 ^d	15,77%
A ₄	4,7	3,47 ^c	26,17%
A ₅	5,66	3,76 ^d	33,57%

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa nilai TS awal mengalami peningkatan, dimana penambahan limbah jeroan ikan patin berpengaruh terhadap meningkatnya nilai *total solid*. Perlakuan A₁ memiliki nilai *total solid* terendah yaitu 4,29%, sedangkan perlakuan A₅ memiliki nilai *total solid* yang tertinggi yaitu 5,66%. Meningkatnya nilai *total solid* ini diduga karena tingginya padatan yang terdapat dalam limbah jeroan ikan dibandingkan dengan kotoran kuda. Pendapat ini sesuai dengan penelitian Solli et al. (2014), dimana kotoran sapi memiliki nilai bahan kering sebesar 6,2 dan limbah silase ikan sebesar 35,1. Mshandete et al. (2004) menambahkan bahwa limbah ikan memiliki nilai *total solid* 32,2 (% sampel segar). Sedangkan menurut Mönch-Tegeder et al. (2013) untuk *total solid* kotoran kuda lebih rendah yaitu 27,30 (% dari bahan segar).

Pada penelitian Mshandete et al. (2004), komposisi dari kombinasi antara limbah ikan dan limbah bubur tekstil menghasilkan nilai *total solid* yaitu 20,6% (50:50), 16,6% (33:67), 14,8% (25:75), dan 13,6% (20:80) sehingga penambahan limbah jeroan ikan patin berpengaruh terhadap nilai *total solid* awal *slurry*. Eiroa et al. (2012) dalam hasil

penelitiannya mengatakan bahwa penambahan 1% *total solid* dari limbah ikan tuna, sarden dan *needlefish* menghasilkan metan tertinggi dibandingkan dengan 2,5% dan 5% *total solid*.

Hasil analisa keragaman pada *slurry* akhir *total solid* menunjukkan bahwa nilai akhir *total solid* berpengaruh nyata pada taraf uji 5% terhadap penambahan limbah jeroan ikan patin. Dari hasil uji lanjut Beda Nyata Jujur diperoleh perlakuan A₁ berpengaruh nyata terhadap perlakuan A₂, perlakuan A₂ berpengaruh nyata terhadap A₄, perlakuan A₅ dan A₃ berpengaruh nyata terhadap semua perlakuan lainnya tetapi perlakuan A₅ tidak berpengaruh nyata terhadap perlakuan A₃. Shi (2012) menyatakan bahwa padatan didalam reaktor biogas terbagi menjadi tiga kelompok yaitu *low solid* (< 10%), *middle solid* (15-20%) dan *high solid* (22-40%). Erickson *et al.* (2004) berpendapat bahwa proses anaerob pada biogas bekerja dengan konsentrasi *total solid* kurang dari 15%.

Pada Tabel 3, perlakuan A₁ menghasilkan *removal* paling tinggi yaitu 48,7%, sedangkan perlakuan A₃ menghasilkan *removal* paling rendah yaitu 15,77%. Hal ini diduga karena penambahan limbah jeroan ikan patin berpengaruh terhadap proses anaerob yang mengakibatkan perbedaan nilai *removal* pada setiap perlakuan. Eiroa *et al.* (2012) dalam hasil penelitiannya mengatakan bahwa penambahan 1% *total solid* dari limbah ikan tuna, sarden dan *needlefish* menghasilkan metan dan *removal (total solid)* tertinggi dibandingkan dengan 2,5% dan 5% *total solid*. Solli *et al.* (2014) menyatakan dari hasil penelitiannya, bahwa peningkatan jumlah limbah silase ikan dalam *co-digestion* dengan kotoran sapi berpengaruh pada peningkatan nilai total nitrogen dan pH di ikuti dengan penurunan ratio C/N yang berdampak pada penurunan produksi metan.

Yi *et al.* (2014) melaporkan bahwa kinerja yang baik pada degradasi anaerobik ditunjukkan dengan tingginya penurunan nilai *total solid* dan *volatil solid*. Penurunan nilai *total solid* menunjukkan bahwa terdapat aktivitas mikrobiologi dimana mikroorganisme untuk memenuhi kebutuhannya akan mendegradasi senyawa organik makro molekul menjadi makro molekul yang lebih sederhana

(Rahman 2007). Beberapa penyebab terjadinya tidak semua padatan terdekomposisi karena adanya penghambatan substrat atau inhibitor di dalam substrat (Zakiyah 2011).

Chemical Oxygen Demand

Nilai *Chemical Oxygen Demand* (COD) merupakan parameter untuk menunjukkan jumlah kebutuhan oksigen dalam mengoksidasi bahan organik yang terkandung dalam substrat. Perubahan nilai COD juga menunjukkan terjadinya biodegradasi anaerobik pada substrat. Analisa COD dilakukan pada awal dan akhir *slurry*. Pada Tabel 4 dapat dilihat hasil analisa COD. Berdasarkan data *slurry* akhir, hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa perlakuan penambahan limbah jeroan ikan patin tidak berpengaruh nyata terhadap COD *slurry* akhir.

Tabel 4. Hasil analisis COD (mg/kg).

Perlakuan	<i>Slurry</i> Awal	<i>Slurry</i> Akhir	<i>Removal</i>
A ₁	73519,71	31513,74	57,13%
A ₂	117361,105	70387,28	40,02%
A ₃	71684,21	42694,07	23,6%
A ₄	55880,5	47215,235	15,51%
A ₅	95956,35	57663,235	39,91%

Nilai rata-rata menunjukkan bahwa perlakuan A₂ memiliki nilai COD *slurry* akhir yang paling tinggi dengan nilai 70387,28 mg/g dan perlakuan A₃ memiliki nilai COD *slurry* yang paling rendah dengan nilai 31513,74 mg/kg. Hasil COD *slurry* akhir ini masih diatas ambang batas yang telah ditentukan oleh pemerintah. Kementerian Lingkungan Hidup (2010) menyatakan bahwa konsentrasi pencemaran COD dibagi tiga, yaitu rendah (250 mg/L) sedang (500 mg/L) dan tinggi (1000 mg/L).

Perbedaan nilai *removal* COD karena disebabkan oleh beberapa hal, yaitu bahan organik pada tahap asidifikasi dirombak menjadi asam yang selanjutnya dirombak menjadi metan pada tahap metanasi (Budiyono *et al.* 2013). Dalam hasil penelitian Budiyono *et al.* (2013) menyatakan bahwa perbandingan COD:N sebesar 800:7 menghasilkan biogas yang optimum, karena pada perbandingan tersebut bakteri lebih

mudah menguraikan senyawa-senyawa organik, sedangkan pada perbandingan sebesar 1000:7 diperoleh hasil biogas yang paling kecil dan menandakan penurunan COD juga kecil.

Perombakan terbesar pada proses pembentukan biogas terdapat pada perlakuan A₁ dengan nilai *removal* 57,13%. Hal ini didukung pada nilai *removal* dari *total solid* tertinggi terdapat pada perlakuan A₁ dengan nilai *removal* 48,71%.

Rasio Karbon dan Nitrogen (C:N)

Yenni (2012) mengatakan bahwa unsur karbon dan bahan organik merupakan makanan pokok bakteri anaerob. Igoni et al. (2008) menambahkan bahwa karbon merupakan sumber energi untuk mikroorganisme, sedangkan nitrogen berfungsi untuk meningkatkan pertumbuhan mikroba. Pada pemanfaatan unsur karbon dan nitrogen di dalam reaktor, unsur karbon lebih cepat mengalami degradasi dibandingkan dengan unsur nitrogen. Hal ini sesuai dengan pernyataan Igoni et al. (2008) bahwa bakteri dalam proses pencernaan, unsur karbon 30-35 kali lebih cepat dari unsur nitrogen. Perubahan senyawa organik dari sampah atau kotoran hewan menjadi gas metan dan gas karbon dioksida memerlukan persyaratan rasio C/N antara 20-25 (Sukmana dan Muljatiningrum 2011). Kayhanian dan Hardy (1994) menyatakan bahwa optimal rasio C/N adalah 25-30.

Karakteristik awal *slurry* (Tabel 5) memperlihatkan bahwa rasio C/N pada penelitian ini berkisar antara 7,29-30,02. Rasio C/N tertinggi pada *slurry* awal adalah perlakuan A₁ yaitu sebesar 30,02 dan terendah adalah perlakuan A₅ yaitu sebesar 7,3. Penambahan limbah jeroan ikan patin berpengaruh terhadap penurunan ratio C/N. Hal ini tidak jauh berbeda dengan pernyataan Limbong (2016) bahwa komposisi substrat dengan limbah jeroan ikan gabus dan eceng gondok menghasilkan nilai rasio C/N sebesar 8,19. Pada penelitian Mshandete et al. (2004), komposisi dari kombinasi antara limbah ikan dan limbah bubur tekstil 50:50, 33:67, 25:75 dan 20:80 menghasilkan nilai rasio C/N yaitu 12, 16, 18, dan 23. Penambahan limbah ikan

juga berpengaruh terhadap penurunan jumlah gas metana yang dihasilkan (Mshandete et al. 2004).

Tabel 5. Hasil rasio C:N

Perlakuan	C:N
A ₁	30,02 ^b
A ₂	17,66 ^a
A ₃	12,53 ^a
A ₄	13,26 ^a
A ₅	7,29 ^a

Pada Tabel 5 memperlihatkan bahwa rasio C/N pada penelitian ini berkisar antara 7,29-30,02. Rasio C/N tertinggi pada *slurry* awal adalah perlakuan A₁ yaitu sebesar 30,02 dan terendah adalah perlakuan A₅ yaitu sebesar 7,3. Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perlakuan penambahan limbah jeroan ikan patin berpengaruh nyata pada taraf uji 5% terhadap nilai akhir rasio C/N. Dari hasil uji lanjut Beda Nyata Jujur diperoleh perlakuan A₂, A₃, A₄ dan A₅ berbeda nyata dengan perlakuan A₁. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan limbah jeroan ikan patin berpengaruh terhadap penurunan rasio C/N. Hal ini di dukung oleh penelitian Mshandete et al. (2004), komposisi dari kombinasi antara limbah ikan dan limbah bubur tekstil 50:50, 33:67, 25:75 dan 20:80 menghasilkan nilai rasio C/N yaitu 12, 16, 18, dan 23. Penambahan limbah ikan juga berpengaruh terhadap penurunan jumlah gas metana yang dihasilkan (Mshandete et al. 2004).

Penurunan nilai C/N diduga kandungan protein dan nitrogen pada limbah jeroan ikan patin yang tinggi, sehingga menyebabkan nilai rasio C/N menjadi rendah. Substrat yang memiliki rasio C/N rendah relatif mengandung konsentrasi amonia tinggi (Wahyudi, 2016). Sehingga kandungan protein dan nitrogen yang tinggi pada jeroan ikan patin menghasilkan banyak amonia. Shi (2012) menambahkan bahwa amonia adalah produk samping dalam proses anaerob yang berasal dari protein dan nitrogen lainnya yang mengandung bahan organik. Solli et al. (2014) menyatakan dari hasil penelitiannya bahwa penambahan limbah silase ikan berpengaruh pada meningkatnya nilai total nitrogen.

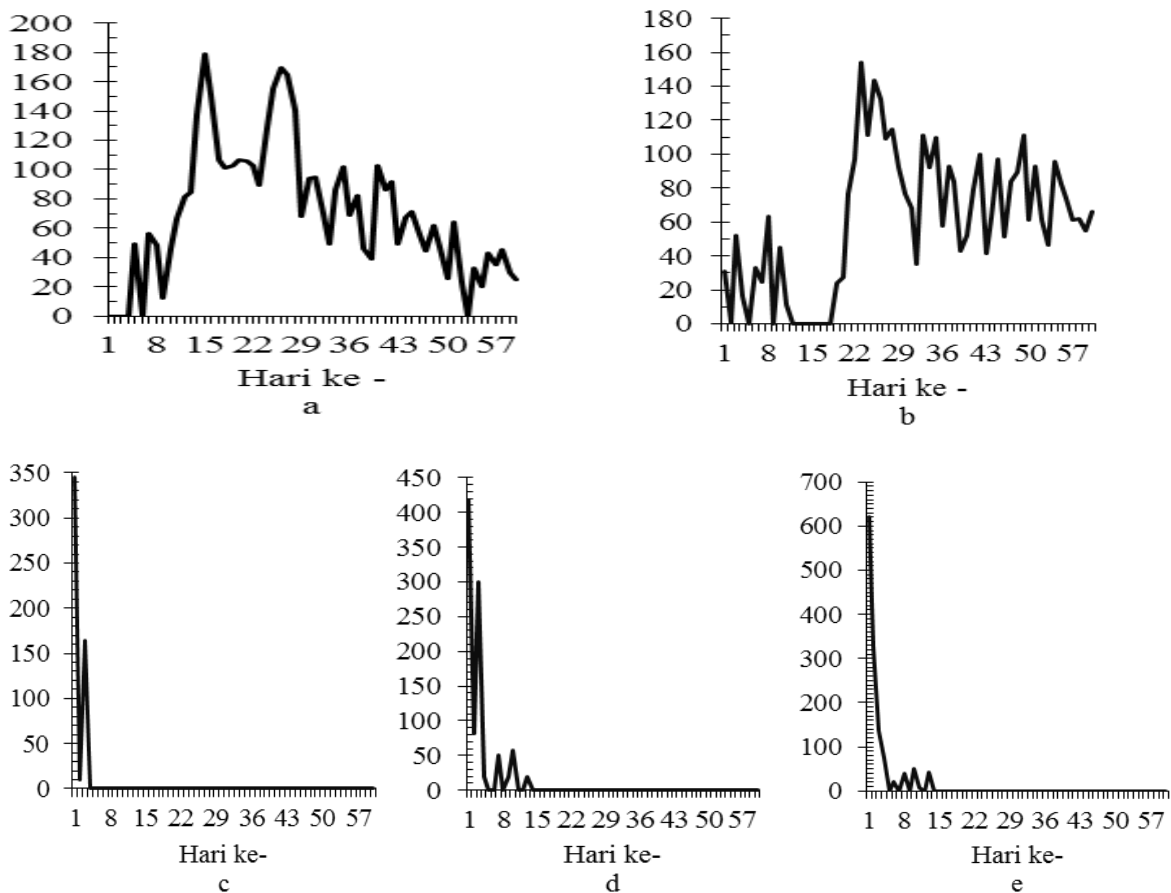
Mshandete *et al.* (2007) menambahkan bahwa limbah ikan memiliki nilai total nitrogen sebesar 5,85 (% berat kering).

Laju Pembentukan Biogas

Produksi biogas meliputi beberapa tahapan. Menurut Seadi *et al.* (2008) mengatakan bahwa dalam pembentukan biogas terdapat empat proses utama yaitu *hydrolysis*, *acidogenesis*, *acetogenesis*, dan *methanogenesis*. Pengukuran biogas dilakukan setiap hari selama 60 hari.

Pada tahap *hydrolysis* komponen kompleks (karbohidrat, protein dan lemak)

dirubah menjadi komponen sederhana (gula, asam amino dan asam lemak), tahap *acidogenesis* memanfaatkan komponen sederhana oleh bakteri fermentasi untuk membentuk asam rendah lemak (asetat, asam propionat dan butirat) serta gas karbondioksida dan hidrogen, tahap *acetogenesis* adalah pembentukan asam asetat, hidrogen dan karbon dioksida dari hasil fermentasi dan tahap *methanogenesis* memanfaatkan asam asetat, hydrogen, dan karbon dioksida itu dikonversi menjadi metan (Rohstoffe 2010).



Gambar 2. Produksi biogas per hari pada perlakuan A₁ (a), A₂ (b), A₃ (c), A₄ (d) dan A₅ (e).

Produksi biogas per hari masing-masing dapat dilihat pada Gambar 2 yang memperlihatkan bahwa pada hari pertama, perlakuan A₂, A₃, A₄ dan A₅ menghasilkan biogas, sedangkan perlakuan A₁ menghasilkan biogas pada hari ke-5. Perlakuan A₁ menghasilkan biogas tertinggi terjadi pada hari ke-15 (179 mL), A₂ pada hari ke-23 (154 mL), A₃ pada hari pertama (345,5 mL),

A₄ pada hari pertama (418,5 mL) dan A₅ pada hari pertama (621 mL).

Perlakuan A₁ dan A₂ pada Gambar 2 menghasilkan grafik yang sesuai dengan pertumbuhan populasi bakteri pada umumnya, dimana mengalami fase *lag*, *log*, *stationare* dan *death* (Maier 2008). Perlakuan A₃, A₄, dan A₅ tidak menghasilkan grafik pertumbuhan yang sesuai; pada hari pertama

sudah menghasilkan biogas yang tinggi dan mengalami penurunan langsung. Sehingga diduga pada perlakuan A₃, A₄, dan A₅ belum menghasilkan gas metana. Gerardi (2003) menambahkan bahwa tahap *methanogenesis* memerlukan waktu 5-15 hari.

Menurut Gerardi (2003) waktu yang dibutuhkan bakteri untuk menggandakan diri pada tahap *hydrolysis* dan *acidogenesis* adalah 1 dan 1,5 hari, sementara untuk tahap *acetogenesis* dan *methanogenesis* sekitar 1-4 hari dan 5-15 hari. Tomczak-Wandzel et al. (2013) menambahkan bahwa produksi metana tertinggi dihasilkan pada hari ke 10. Rasio C/N berperan dalam peningkatan gas metana. Tanimu et al. (2014) mengatakan bahwa komposisi metana dari biogas meningkat seiring peningkatan rasio C/N, dimana peningkatan dari 67% (0,352 L/g VS) ke 74% (0,4465 L/g VS) untuk rasio C/N dari 17 ke 26, dan peningkatan tertinggi yaitu 85% dari rasio C/N 30 (0,679 L/g VS).

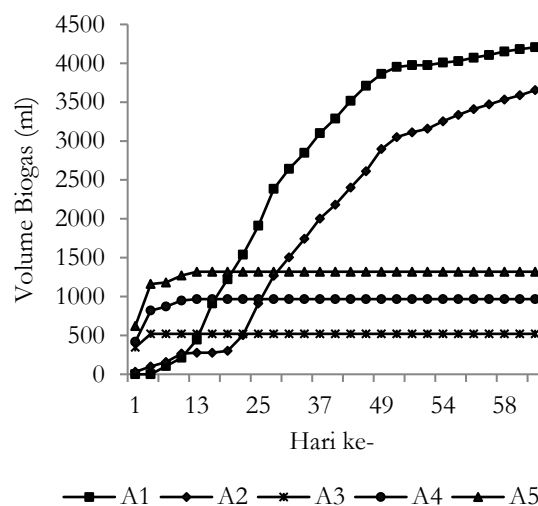
Volume Biogas

Volume biogas diukur berdasarkan berapa banyak cairan yang keluar dari tempat penampungan biogas. Berdasarkan data akumulasi biogas selama proses pembentukan biogas berlangsung dapat diketahui volume biogas yang dihasilkan Gambar 3.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa volume biogas yang dihasilkan berkisar antara 520 - 4206,5 mL. Perlakuan A₁ dan A₂ mengalami peningkatan pada hari ke 10 dan 17, serta masih terus menghasilkan biogas sampai hari ke 60, sedangkan untuk perlakuan A₃, A₄ dan A₅ mengalami peningkatan pada hari ke-1, serta masing-masing berhenti pada hari ke 4, 13 dan 13. Volume biogas tertinggi dihasilkan oleh perlakuan A₁ dan volume terendah dihasilkan oleh perlakuan A₃.

Seadi et al. (2008) mengatakan bahwa komposisi dari biogas terdiri dari CH₄ (50-75%), CO₂ (25-45%), N₂ (<2), NH₃ (<1) dan H (<1). Biogas yang dihasilkan dari penambahan limbah jeroan ikan diduga menurunkan produksi gas metana dan meningkatkan gas amoniak, sehingga komponen utama biogas yang dihasilkan

bukan berupa metana, melainkan amoniak. Gerardi (2003) menambahkan bahwa hasil produksi biogas bukan berarti memproduksi metana, karena metana merupakan produksi akhir dari degradasi senyawa organik. Hal ini didukung oleh pendapat Solli et al. (2014) bahwa peningkatan proporsi dari limbah silase ikan dari 3% ke 6% dan kemudian 13% diikuti dengan peningkatan amoniak.



Gambar 3. Akumulasi biogas.

Rendahnya rasio C/N pada penambahan limbah jeroan ikan juga berdampak pada tingginya produksi amoniak. Pernyataan ini sesuai dengan penelitian Yen dan Burne (2007) bahwa, rendahnya rasio C/N menyebabkan tingginya *total ammonia nitrogen* (TAN) yang dibebaskan dan tingginya asam lemak volatil (VFA) yang terakumulasi dalam *digester*. Sedangkan untuk rasio optimal C/N adalah 25-30 (Kayhanian dan Hardy, 1994).

Tabel 6. Hasil analisis total volume biogas.

Perlakuan	Volume (mL)
A ₁	4206,5 ^c
A ₂	3654 ^d
A ₃	520 ^a
A ₄	967 ^b
A ₅	1319 ^c

Hasil analisis sidik ragam diketahui bahwa penambahan limbah jeroan ikan patin berpengaruh nyata terhadap volume biogas pada taraf uji 5%. Berdasarkan hasil analisis

uji lanjut Beda Nyata Jujur diketahui bahwa perlakuan A₁, A₂, A₃, A₄ dan A₅ berbeda nyata. Hasil ini menunjukkan bahwa dengan penambahan limbah jeroan ikan patin menurunkan volume biogas yang dihasilkan. Penurunan terendah terjadi pada perlakuan A₃ yang hanya menghasilkan sebanyak 520 mL.

Pada penelitian Salam *et al.* (2009) campuran antara limbah ikan dan kotoran sapi dengan perbandingan 1:1,2 menghasilkan biogas tertinggi sebanyak 400mL/kg pada hari ke 9. Menurut Zakiyah (2011) bahan dengan ukuran yang lebih kecil memiliki luas kontak permukaan yang lebih besar dibandingkan bahan berukuran besar, sehingga pengecilan ukuran sebagai perlakuan awal berpotensi menghasilkan biogas yang secara signifikan meningkat. Hasil beberapa penelitian mengungkapkan bahwa kandungan limbah ikan pada umumnya tinggi akan asam lemak dan NH₃ (Solli *et al.* 2014).

Nyala Api

Uji nyala api dilakukan pada akhir proses *anaerobic digestion*. Hasil yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Uji nyala api.

Perlakuan	Nyala Api	Biru	Biru+Merah
A ₁	+	-	+
A ₂	+	-	+
A ₃	-	-	-
A ₄	-	-	-
A ₅	-	-	-

Nyala api pada biogas dibuktikan dengan gas yang dapat terbakar dengan mudah. Dari hasil uji nyala api, hanya perlakuan A₁ dan A₂ yang positif. Sedangkan untuk perlakuan yang lain negatif. Hal ini diduga pada perlakuan A₃, A₄ dan A₅ menghasilkan volume gas yang lebih sedikit, serta tidak mengandung banyak metan, melainkan amonia. Hal ini diduga karena tingginya kandungan nitrogen pada limbah jeroan ikan patin. Solli *et al.* (2013) menambahkan bahwa limbah ikan banyak menghasilkan amonia (NH₃) dan penelitiannya menghasilkan bahwa untuk 3% limbah silase ikan memiliki nilai total nitrogen sebesar

2,4 g/L, sedangkan untuk 19% memiliki nilai total nitrogen sebesar 5,1 g/L. Menurut Fairuz *et al.* (2016) bahwa biogas yang tidak menghasilkan nyala api diduga karena sedikitnya kandungan gas metan (CH₄). Perlakuan yang tidak menyala ini diduga karena nilai ratio C/N yang sangat rendah dan pH yang dibawah standar sehingga kondisi di dalam reaktor sangat asam.

Pada perlakuan A₁ dan A₂ menghasilkan nyala api berwarna biru+merah. Jika nyala api menghasilkan warna biru, maka gas yang dihasilkan mengandung gas metana (Hikma *et al.* 2014). Jika nyala api pada biogas tidak dapat terbakar, yang berarti bahwa kandungan gas metana masih sangat sedikit dan Jika biogas mengandung lebih banyak gas-gas pengotor lainnya maka warna api yang dihasilkan adalah cenderung kemerah-merahan (Yenni *et al.* 2012).

KESIMPULAN

Biogas terbanyak dihasilkan oleh perlakuan tanpa penambahan limbah padat ikan patin sedangkan biogas terendah dihasilkan oleh perlakuan 50% kotoran kuda dan 50% limbah padat. Hanya perlakuan penambahan 100% kotoran kuda dan perlakuan penambahna 75% kotoran kuda dan 25% limbah padat yang hanya terbakar pada Uji Nyala.

DAFTAR PUSTAKA

Appels L, Baeyens J, Degrève J, dan Dewil R. (2008). Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge. *Progress in Energy and Combustion Science*. 34: 755-781.

Astuti N, Soeprbowati TS, dan Budiyono. 2013. Produksi biogas dari eceng gondok (*Eichhornia crassipes (mart.) Solms.*) dan limbah ternak sapi di Rawapening. *Seminar Nasional X Pendidikan Biologi FKIP UNS*, Semarang.

Budiyono, Khaerunnisa G, dan Rahmawati I. 2013. Pengaruh pH dan rasio COD:N terhadap produksi biogasa dengan

- bahan baku limbah industri alkohol (ninasse). *Jurnal Prodi Teknik Kimia UPN* 11(1).
- Eiroa M, Costa JC, Alves MM, Kennes C, dan Veiga MM. 2012. Evaluation of biomethane potential of solid waste. *Waste Management* 32: 1347-1352.
- Fairuz A, Haryanto A, dan Tusi A. 2015. Pengaruh penambahan ampas kelapa dan kulit pisang terhadap produksi biogas dari kotoran sapi. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung* 4(2): 91-98.
- Gerardi MH. 2003. *The Microbiology of Anaerobic Digesters*. Hoboken, New Jersey: John Wiley&Sons, Inc.
- Harahap MF, Thamrin, dan Bahri S. 2013. *Pengolahan Limbah Ikan Patin Menjadi Biodiesel*. Pusat Penelitian Lingkungan Hidup, Universitas Riau.
- Hastarini E, Fardiaz D, Irianto HE, dan Budjanto S. 2012. Karakteristik minyak ikan dari limbah pengolahan filet ikan patin siam (*Pangasius hypophthalmus*) dan patin jambal (*Pangasius djambal*). *AGRITECH* 32(4).
- Hikma N, Alwi M, dan Umrah. 2014. Potensi limbah cair tempe secara mikrobiologis sebagai alternatif penghasil biogas. *Biocelbes*: 54-59.
- Hossain U dan Alam AKMN. 2015. Production of powder fish silage from fish market wastes. *SAARC J. Agri.* 13 (2):13-25.
- Igoni AH, Ayotamuno MJ, Eze CL, Ogaji SOT, dan Probert SD. 2008. Designs of anaerobic digesters for producing biogas from municipal solid-waste. *Applied Energy* 85: 430-438.
- Kassuwi SAA, Mshandete A dan Kivaisi AK. 2012. Anaerobic co-digestion of biological pre-treated Nile perch fish solid waste with vegetable fraction of market solid waste. *ARPJ Journal of Agricultural and Biological Science* 7(12).
- Kayhanian M dan Hardy S. (1994). The impact of four design parameters on the performance of high-solids anaerobic digestion of municipal solid waste for fuel gas production. *Environmental Technology* 15(6): 557-567.
- Kementrian Perdagangan. 2013. *Ikan Patin Hasil Alam Bernilai Ekonomi dan Berpotensi Ekspor Tinggi*. Warta Ekspor Edisi Oktober 2013. Jakarta.
- Krisye. 2015. Potensi biodegradasi anaerobik *Ulva* sp. dan *Gracilaria* sp. dalam memproduksi biogas dengan metode batch. Tesis S2. (Tidak dipublikasikan). Bogor: Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Limbong SS. 2016. Uji potensi biogas dari limbah pengolahan ikan gabus (*Channa striata*) dengan penambahan jenis gulma akuatik. Skripsi S1. (Tidak dipublikasikan). Indralaya: Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya.
- Maier RM. 2008. *Bacterial Growth*. Review of Basic Microbiological Concepts.
- Mönch-Tegeger M, Lemmer A, Oechsner H dan Jungbluth T. 2013. Investigation of the methane potential of horse manure. *Agric. Eng. Int.: CIGR J.* 15(2): 161–172.
- Mshandete A, Kivaisi AK, Rubindamayugi M dan Mattiason. 2004. Anaerobic batch co-digestion of sisal pulp and fish waste. *Bioresource Technology*. 95. 19-24.
- Purnomo A. 2010. Pengaruh suhu dan sumber inokulum terhadap produksi biogas dari limbah makanan pada perombakan anaerob. Skripsi S1 (Tidak dipublikasikan). Surakarta: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sebelas Maret.
- Purnomo E. 2005. Pemanfaatan bahan sisa dalam upaya meminimisasi limbah padat. Tesis S2. (Tidak dipublikasikan) Semarang: Program Pascasarjana Universitas Diponegoro Semarang.
- Pratama DL. 2015. Uji potensi biogas pada campuran kiambang dan limbah jeroan ikan gabus menggunakan batch anaerobic digestion. Skripsi S1. (Tidak dipublikasikan). Inderalaya: Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya.
- Rahman AN. 2007. Pembuatan biogas dari sampah buah-buahan melalui fermentasi aerobik dan anaerobik. Skripsi S1. (Tidak dipublikasikan). Bogor: Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor.

- Ratnaningsih, Widyatmoko H, dan Yananto T. 2009. Potensi pembentukan biogas pada biodegradasi campuran sampah organik segar dan kotoran sapi dalam batch reaktor anaerob. *Jurnal Teknologi Nasional* 5(1).
- Rohstoffe FN. 2010. *Guide to Biogas from Production to Use. 5th, completely revised edition*, Gülzow. Germany.
- Salam B, Islam M, dan Rahman MT. 2009. Biogas from anaerobic digestion of wish waste. *Proceeding of the International Conference in mechanical Engineering 2009 (ICME 2009) 26-28 Desember 2009, Dhaka, Bangladesh*.
- Sangeetha PA, Phil M, Atharsha S, dan Sri SK. 2013. Comparison of Viability of Biogas from Poultry Waste and Mixture of Poultry and Fish Waste. *International Journal of Innovative Research in Technology & Science*.
- Sari SN, Sutisna M, dan Pratama Y. 2014. Biogas yang dihasilkan dari dekomposisi eceng gondok (*Eicchornia crassipes*) dengan penambahan kotoran sapi sebagai starter. *Jurnal Institut Teknologi Nasional* 2(1).
- Sathivel S, Prinyawiwatkul W, Gimm CC, King JM dan Lloyd S. 2003. FA composition of crude oil recovered from Catfish Viscera. *Journal American Oil Chem. Soc.* 79: 989-992.
- Seadi TA, Rutz D, Prassl H, Köttner M, Finsterwalder T, Volk S, dan Janssen R. 2008. *Biogas Handbook*. University of Southern Denmark Esbjerg, Esbjerg. p125.
- Shah FA, Mahmood Q, Shah MM, Pervez A, dan Asad SA. 2014. Microbial ecology of anaerobic digesters: The key players of anaerobiosis. *The Scientific World Journal*.
- Shi C. 2012. Potential Biogas Production from Fish Waste and Sludge. *TRITA-LWR Degree Project* 12:37.
- Shinta dan Prayatni. 2010. Degradasi biowaste fasa cair, slurry, dan padat dalam reaktor batch anaerob sebagai bagian dari mechanical biological treatment. Skripsi S1. (Tidak dipublikasikan). Bandung: Fakultas Sipil dan Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Bandung.
- Solli L, Bergersen O, Sorheim R, dan Briseid T. 2014. Effects of a gradually increase of fish waste silage in co-digestion with cow manure on methane production. *Waste Management*. 04.001.
- Sukmana RW dan Muljatiningrum A. 2011. *Biogas dari Limbah Ternak*. Bandung: Penerbit Nuansa.
- Tanimu MI, Tinia I, Mohd G, Razif MH, dan Azni I. 2014. Effect of carbon to nitrogen ratio of food waste on biogas methane production in a batch mesophilic anaerobic digester. *International Journal of Innovation, Management and Technology* 5(2).
- Tomczak-Wandzel R dan Levlín E. 2013. Biogas production from fish wastes in co-digestion with sewage sludge. *IWA Specialist Conference Holistic Sludge Management 6-8 May 2013 Västerås Sweden*.
- Widodo T. 2006. Rekayasa dan pengujian reactor biogas skala kelompok tani ternak. *Jurnal Engeneering Pertanian* 4(1): 1-4.
- Wahyudi R. 2016. Produktivitas makroalga *eucheuma cottonii* dalam memproduksi biogas dengan Metode *Batch*. Tesis S2. (Tidak dipublikasikan). Bogor: Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Yadvika S, Sreekrishnan TR, Sangeta K dan Vineet R. 2004. Enhancement of biogas production from solid substrat using different techniques- a riview. *J Biore Technol* 95: 1-10.
- Yenni, Dewilda Y dan Sari SM. 2012. Uji pembentukan biogas dari substrat sampah sayur dan buah dengan ko-substrat limbah isi rumen sapi. *Jurnal Teknik Lingkungan UNAND* 9(1): 26-36.
- Yen HW dan Burne DE. 2007. Anaerobic co-digestion of algal sludge and waste paper to produce methane. *Bioresour. Technol.* 98, 130–134.
- Yi J, Dong B, Jin J, dan Dai X. 2014. Effect of increasing total solids contents on anaerobic digestion of food waste under mesophilic conditions: performance and microbial characteristics analysis. *PLoS ONE* 9(7).
- Yonathan A, Prasetya AR dan Pramudo B. 2013. Produksi biogas dari eceng gondok (*Eicchornia crassipes*): Kajian konsistensi dan pH terhadap biogas

- dihasilkan. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri* 2(2) 211-215.
- Zakiyah N. 2011. Pengaruh penambahan sludge pada konversi jerami padi menjadi biogas. Skripsi S1. (Tidak dipublikasikan). Bogor: Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor.
- Zuta CP, Simpson BK, Chan HM dan Philips L. (2003). Concentrating PUFA from mackerel processing waste. *Journal American Oil Chem. Soc.* 80: 933-936.