

PENGGANTIAN ALAT PENDUKUNG REAKTOR ANAEROBIK DUA TAHAP GUNA MENINGKATKAN KUALITAS HASIL BIOGAS

Mukhtar Ghozali¹, Herawati Budiastuti^{2*}, Alviera W. Fitrianie³, Elis S. Wahyuni⁴

^{1,2*,3,4} Politeknik Negeri Bandung

Email: ¹mukhtar.ghozali@polban.ac.id, ^{2*}herabudi@polban.ac.id, ³alviera.wilma.tkpb14@polban.ac.id, ⁴elis.sri.tkpb14@polban.ac.id

Abstrak

Rasio BOD/COD lindi adalah 0,6 sehingga memenuhi syarat untuk dilakukan pengolahan secara anaerobik. Lindi berpotensi untuk diolah namun pada umumnya hanya dilakukan pengolahan dengan aerasi sebelum dibuang ke lingkungan. Untuk menghindari pencemaran lingkungan dan mengoptimalkan pengolahan, lindi dapat diolah secara anaerobik menjadi biogas. Reaktor anaerobik dua tahap dinilai dapat lebih efektif dan efisien dalam mendegradasi senyawa organik dalam lindi. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja reaktor anaerobik dua tahap yang telah dibuat guna meningkatkan efisiensi degradasi dan meningkatkan konsentrasi CH₄ dalam biogas. Untuk meningkatkan kinerja reaktor telah dilakukan penggantian tangki umpan, pengecekan kebocoran, dan penggantian gas holder. Lindi berasal dari TPS Sarimukti Padalarang, Bandung Barat, dan starter berupa rumen sapi, diambil dari tempat penjalangan di daerah Ciroyom, Bandung. Nilai pH pada reaktor 1 (R1) berada pada rentang 5-6,5 sementara nilai pH pada reaktor 2 (R2) berada pada rentang 7-8. pH asam pada R1 memungkinkan terjadinya proses hidrolisis dan asetogenesis, dan pH netral pada R2 memungkinkan terjadinya proses metanogenesis. Analisa dilakukan pada nilai COD, BOD, pH, dan komposisi CH₄ dalam biogas. CH₄ yang dihasilkan sebanyak 2 liter selama 45 hari dengan efisiensi penurunan COD sebesar 86,9 % dan komposisi CH₄ terbesar 24%. CH₄ mulai terbentuk setelah hari ke-18.

Kata Kunci: lindi, biogas, gas holder, efisiensi degradasi, CH₄

Abstract

BOD/COD ratio of leachate is 0.6 so it fulfils requirement for anaerobic treatment. Leachate is potentially to be treated, however leachate is commonly treated by aeration before it is discharged. To avoid environmental pollution and to optimize treatment, leachate can be treated anaerobically to produce biogas. Two-stage anaerobic reactors are considered to be more effective and efficient in degrading organic substances in leachate. This study aims to evaluate the reactors built to increase degradation efficiency and composition of CH₄ contained in biogas. To improve reactor's performance, the feed tank replacement, leakage check, and gas holder replacement were conducted. Leachate was obtained from Sarimukti Padalarang, West Bandung and starter, cow rumen, was obtained from a slaughter house in Ciroyom, Bandung. The value of pH in the 1st reactor (R1) was in the range of 5-6.5 and in the 2nd reactor (R2) was 7-8. Acidic pH range allows the occurrence of hydrolysis and acetogenesis, meanwhile the normal pH range allows the occurrence of methanogenesis. Analysis parameters were COD, BOD, pH, and composition of CH₄ in biogas. CH₄ produced within 45 days, COD degradation efficiency, and maximum CH₄ composition were 2 liters, 86.9%, and 24%, respectively. CH₄ was started to be produced after day 18.

Keywords: leachate, biogas, gas holder, degradation efficiency, CH₄

I. PENDAHULUAN

Air yang masuk ke dalam timbunan sampah akan melarutkan serta bahan-bahan yang terlarut di dalamnya. Hasil dekomposisi secara biologis dari timbunan sampah yang mengandung air ini akan menghasilkan lindi atau *leachate*, yang merupakan limbah cair yang mengandung

bahan-bahan organik. Berbagai gangguan yang timbul akibat lindi, jika ditinjau dari segi keseimbangan lingkungan, kesehatan dan pencemaran, antara lain adalah: 1) mencemari udara karena menimbulkan bau tak sedap, 2) mengakibatkan kehidupan biota air menjadi terganggu karena kadar senyawa organik yang tinggi yang mencemari dan mengurangi oksigen di badan air, 3)

memberikan efek berbahaya bagi makhluk hidup akibat toksisitas air lindi (Alimba, dkk., 2009).

Berdasarkan penjelasan di atas dan agar tidak mencemari lingkungan maka lindi perlu dilakukan pengolahan sebelum dibuang ke badan air atau lingkungan. Agar pengolahan lindi yang dilakukan merupakan pengolahan yang tepat, sebelum dilakukan pengolahan lindi, perlu dilakukan terlebih dahulu tinjauan terhadap karakteristik dari lindi. Menurut Mc Bean dkk dalam Wicaksono dan Hadiansyah (2016) lindi memiliki karakteristik yang khas, seperti tertuang pada Tabel 1. Kandungan senyawa organik di dalam lindi yang tinggi menjadikan teknologi pengolahan secara biologis merupakan metode pengolahan yang tepat.

Tabel I Karakteristik Lindi secara Umum

Parameter	Lindi	
	Umur <2 tahun	Umur >10 tahun
BOD ₅ (ppm)	2.000-30.000	100-200
TOC (ppm)	1.500-20.000	80-160
COD (ppm)	3.000-45.000	100-500
TSS (ppm)	200-2.000	100-400
Nitrogen Organik (ppm)	10-600	80-120
Ammonia Nitrogen (ppm)	10-800	20-40
Alkalinity as CaCO ₃ (ppm)	1.000-10.000	200-1.000
pH	4,5-7,5	6,6-7,5

Secara umum, pengolahan lindi di Tempat Pembuangan Sementara (TPS) mau pun Tempat Pembuangan Akhir (TPA) di Indonesia masih menggunakan metode pengolahan secara konvensional, yakni metode pengolahan secara aerobik. Pengolahan aerobik lindi yang umumnya dilakukan yaitu pengolahan dengan metode aerasi untuk menurunkan nilai BOD lindi, yang kemudian hasil pengolahannya langsung dibuang ke lingkungan, sehingga biasanya masih berdampak pada pencemaran lingkungan. Untuk mengurangi resiko dampak tersebut dan sekaligus untuk memproduksi biogas, salah satu cara yang dapat dilakukan adalah dengan mengolahnya secara anaerobik.

Lindi dengan usia di bawah 2 tahun memiliki rasio BOD/COD sebesar 0,6 (Tabel 1) sehingga lindi memenuhi persyaratan untuk dilakukan pengolahan secara biologis karena lindi memiliki sifat biodegradabilitas yang tinggi (Hermanus dkk, 2015). Sifat biodegradabilitas limbah organik dapat diketahui dari pengamatan rasio BOD/COD. Semakin tinggi rasio BOD/COD suatu air limbah maka tingkatan biodegradabilitas dari air limbah tersebut semakin tinggi. Bila air limbah bersifat *biodegradable* dengan konsentrasi BOD yang cukup tinggi, yakni lebih dari 1.000 mg/L maka dapat dilakukan pengolahan secara anaerobik dan jika berada di bawah 1.000 mg/L cukup dilakukan proses aerobik saja.

Lindi memiliki potensi yang cukup besar untuk diolah dan dimanfaatkan. Pengolahan lindi secara anaerobik bukan hanya menurunkan nilai BOD namun juga dapat menghasilkan biogas. Lindi dapat berperan sebagai substrat atau sumber makanan bagi bakteri anaerobik dalam pengolahan lindi secara anaerobik.

Biogas merupakan gas yang dapat dibakar seperti layaknya bahan bakar lainnya. Biogas ini terbentuk sebagai hasil dari proses degradasi bahan organik oleh mikroorganisme anaerobik.

Pada tahun 2016, Wicaksono dan Hadiansyah telah melakukan perancangan dan penelitian reaktor anaerobik dua tahap dengan kapasitas masing-masing 20 liter. Pada perancangan tersebut terdapat beberapa kekurangan sehingga produksi gas metana yang dihasilkan masih sangat sedikit. Kekurangan yang dimaksud diantaranya adalah waktu operasi awal dalam pembentukan biogas yang sangat lama hingga mencapai 60 hari, efisiensi penyisihan COD hanya sebesar 10%, dan terjadi fluktuasi nilai pH, COD, serta MLVSS sehingga menyebabkan komposisi gas metana (CH₄) yang sangat sedikit yakni hanya mencapai 8,9 % dari total biogas yang dihasilkan.

Berdasarkan kondisi tersebut, maka penelitian lanjutan ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja dan memodifikasi peralatan pendukung pada reaktor anaerobik dua tahap yang telah dirancang dan dibangun. Dengan demikian, diharapkan waktu produksi biogas dapat lebih singkat, dan persentase/kualitas biogas yang dihasilkan dapat melebihi kualitas biogas yang dihasilkan dari penelitian sebelumnya. Untuk mencapai tujuan tersebut, parameter operasi yang diamati adalah pH reaktor, nilai COD, waktu terbentuknya biogas, dan komposisi CH₄.

II. METODE

Tahapan penelitian terdiri dari tahap persiapan, tahap uji awal karakteristik lindi dan rumen sapi, tahap uji kebocoran dan penyiapan reaktor, serta tahap proses produksi biogas dan evaluasi.

1). Tahap Persiapan

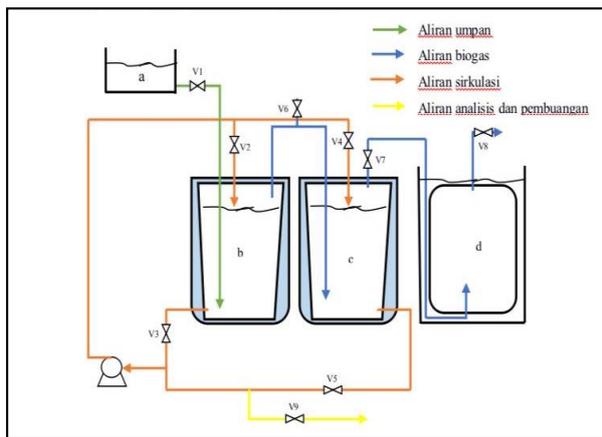
Pada tahap persiapan dilakukan proses persiapan lindi, pengenceran rumen sapi, dan pencampuran lindi dan rumen sapi yang telah disiapkan. Pada tahap persiapan ini dilakukan pula pembersihan untuk penyiapan reaktor anaerobik sebelum bahan baku dituangkan ke dalam kedua reaktor tersebut.

2). Tahap Pengujian Awal

Tahap pengujian awal yaitu melakukan analisis COD dan BOD pada bahan baku lindi serta analisis MLVSS pada rumen sapi. Hal ini dilakukan guna mengetahui karakteristik awal bahan baku utama.

3). Tahap uji kebocoran dan penyiapan reaktor dilakukan bersamaan/paralel dengan pengujian awal analisis bahan baku. Uji kebocoran pada reaktor dilakukan dengan menggunakan air guna mengantisipasi kebocoran cairan pada sambungan-sambungan mau pun *valve* baik *valve* masukan mau pun *valve* keluaran. Pengecekan kebocoran gas dilakukan dengan mengalirkan udara dan mengeceknya pada sambungan-sambungan dan *valve* yang memungkinkan terjadinya kebocoran. Pada tahap penyiapan reaktor dilakukan beberapa perbaikan pada rangkaian reaktor diantaranya adalah memperbaiki sambungan pipa yang sudah longgar, mengganti *feed tank* dan *gas holder*.

4). Tahap proses produksi biogas berupa pengolahan lindi dengan *starter* rumen sapi secara pengolahan anaerobik dua tahap untuk menghasilkan biogas. Pada Reaktor 1, diumpangkan campuran lindi dan rumen dengan perbandingan volume lindi dan rumen sebesar 2:1. Sementara pada Reaktor 2, dilakukan pengumpanan dengan perbandingan volume lindi dan rumen sebesar 1:4. Setelah itu dilakukan perhitungan HRT pada masing-masing reaktor. Selama proses produksi dilakukan analisa pH, nilai COD, serta volume dan komposisi biogas yang dihasilkan. Reaksi pada satu siklus dianggap selesai pada saat nilai pH optimum dari masing-masing reaktor telah tercapai. Langkah ini kemudian diulangi pada siklus berikutnya. Komposisi biogas dianalisis menggunakan *Geotech Biogas 5000 Analyzer*. Gambar 1 menunjukkan skema reaktor anaerobik dua tahap yang digunakan dalam penelitian ini. Setelah tahap proses produksi biogas dilakukan maka dilaksanakan tahap evaluasi.



Gambar. 1 Skema Reaktor Anaerobik Dua Tahap. a) Tangki Umpan, b) Reaktor 1, c) Reaktor 2, d) Penampung Gas (Budiastruti dkk, 2018).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini digunakan reaktor anaerobik dua tahap. Dua tahap berarti terdapat dua tahapan reaksi yang terbentuk dalam dua reaktor yang difungsikan berdasarkan rentang pH yang berbeda. Pada reaktor pertama (Reaktor 1) terjadi reaksi hidrolisis, asidogenesis, dan asetogenesis dengan rentang pH optimum pada pH 5-6,5. Pada reaktor kedua (Reaktor 2) terjadi reaksi metanogenesis dengan pH optimum pada rentang pH 7-8 (Mshandete dkk., 2008). Kondisi pH pada masing-masing reaktor harus tetap terjaga untuk terjadinya reaksi-reaksi yang dikehendaki. Reaksi hidrolisis akan berlangsung secara efisien pada pH 5,5 sedangkan reaksi asidogenesis akan berlangsung secara efisien pada pH 6,5 (Lee dkk., 2009). Sedikit berbeda, Deublein dan Steinhauser (2010) menyatakan bahwa asidogenesis berlangsung pada rentang pH 4-6 dan asetogenesis berlangsung pada pH 5-6,5. Deublein dan Steinhauser juga menyatakan bahwa reaksi metanogenesis akan berlangsung optimal pada pH 6,5-8 sementara Lee dkk. (2009) menyatakan bahwa reaksi

metanogenesis akan berlangsung optimal pada pH 6,5-8,2. Pada Tabel 2 disajikan beberapa penelitian produksi biogas dengan menggunakan reaktor anaerobik dua tahap. Dari Tabel ini dapat disimpulkan bahwa reaktor anaerobik dua tahap dapat meningkatkan produksi maupun kualitas dari biogas yang dihasilkan.

Selain pengaruh reaktor, *starter* merupakan salah satu faktor penentu keberhasilan pengolahan secara anaerobik. *Starter* yang digunakan dalam penelitian ini bersumber dari rumen sapi, dimana rumen merupakan salah satu bagian lambung dari kelompok hewan memamah biak (ruminasia) seperti sapi, kerbau, kambing, domba, rusa, dan unta. Di dalam rumen ternak ruminasia, terdapat sekitar 109 bakteri dalam setiap 1 cm³ isi rumen, sementara untuk kandungan protozoanya, berkisar antara 105 - 106 dalam setiap 1 cm³ (Tillman, 1991). Bakteri yang berperan dalam pembentukan gas metana adalah jenis bakteri metanogenik dimana kandungannya mencapai 25% dalam rumen sapi (Febriani, 2011) sehingga isi rumen ini dapat dimanfaatkan sebagai *starter* untuk pengolahan lindi secara anaerobik dalam penelitian ini.

Tabel II Penelitian Biogas yang Menggunakan Reaktor Anaerobik Dua Tahap

Peneliti (tahun)	Hasil Penelitian
Mshandete dkk. (2008)	Reaktor anaerobik dua tahap dapat meningkatkan kualitas metana dalam biogas hingga 51-70%, pH optimum untuk reaktor pertama adalah 5-6,5 dan reaktor kedua adalah 7-8.
Mujdalipah dkk. (2014)	Waktu tinggal untuk proses fermentasi adalah 40 hari. Produksi biogas maksimum dihasilkan oleh campuran limbah dan air dengan perbandingan 9:1 yakni sebanyak 1,35 liter.
Wicaksono dan Hadiansyah (2016)	COD awal <i>starter</i> = 21.590 mg/L COD awal substrat = 21.532 mg/L COD akhir <i>starter</i> = 19.372 mg/L COD akhir substrat = 17.250 mg/L pH <i>starter</i> = 5,3 pH substrat = 5,13 VSS substrat = 243.900 mg/L CH ₄ = 8,95 ppm dan CO ₂ = 1,09 ppm.
Caturwati dkk (2017)	CH ₄ yang dihasilkan dari air lindi = 30% volume.

Pengecekan, Perbaikan, dan Penggantian Peralatan Pendukung Reaktor

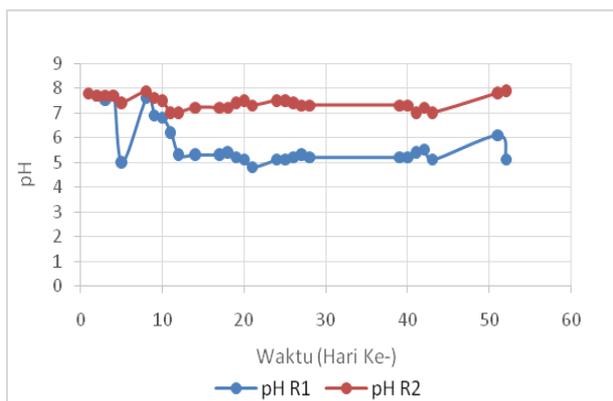
Untuk menunjang keberhasilan pengolahan maka dilakukan pengecekan dan perbaikan sistem pengadukan. Sistem pengadukan dalam penelitian ini digunakan sistem sirkulasi cairan dalam reaktor untuk memperbesar luas kontak antara mikroorganisme dan substrat, serta dalam upaya mendorong gas yang terakumulasi di ruang kosong dalam reaktor agar dapat menuju *gas holder*. Perbaikan sistem pengadukan dilakukan pada masing-masing reaktor yang dibantu dengan menggunakan pompa. Pompa menyedot cairan dari dasar reaktor kemudian mengembalikannya ke reaktor melalui saluran di bagian

atas reaktor. Pengadukan dilakukan sehari sekali dengan durasi waktu pengadukan selama 10 menit.

Guna mengantisipasi adanya kebocoran cairan pada sambungan-sambungan mau pun pada *valve* maka dilakukan uji kebocoran dengan menggunakan air. Pengujian kebocoran gas dilakukan dengan mengalirkan udara dan mengeceknya pada sambungan-sambungan dan *valve* yang memungkinkan terjadinya kebocoran. Beberapa perbaikan yang dilakukan pada rangkaian reaktor diantaranya adalah memperbaiki sambungan-sambungan pipa yang sudah longgar, mengganti *feed tank* dengan volume 15 L, menyesuaikan dengan volume masing-masing reaktor (20 L), dan mengganti *gas holder* dengan bahan yang lebih ringan agar sistem *floating drum* nya dapat terangkat dengan lebih mudah dan biogas yang terbentuk bisa tercatat dengan lebih optimal dan sesuai dengan volume produksi biogas.

Rasio BOD/COD

Dari hasil pengujian didapatkan nilai BOD lindi sebesar 3.200 mg/L dan COD awal sebesar 5.650 mg/L, atau rasio BOD/COD sebesar 0,57. Sebagaimana yang telah dijelaskan bahwa rasio BOD/COD menjadi acuan dalam memilih jenis pengolahan. Rasio BOD/COD sebesar 0,57 menunjukkan bahwa dalam lindi terdapat banyak senyawa organik yang mudah diuraikan (Mc Bean dkk. dalam Wicaksono dan Hadiansyah, 2016). Dengan demikian pemilihan metode pengolahan secara biologis dengan menggunakan reaktor anaerobik dua tahap adalah tepat. Hariyanto dkk. (2014) memperoleh rasio BOD/COD lindi TPA, yang telah didiamkan dengan waktu cukup lama, sebesar 0,58 dan mengolah limbah cair tersebut secara anaerobik.



Gambar. 2 Nilai pH pada Reaktor 1 (R1) dan Reaktor 2 (R2).

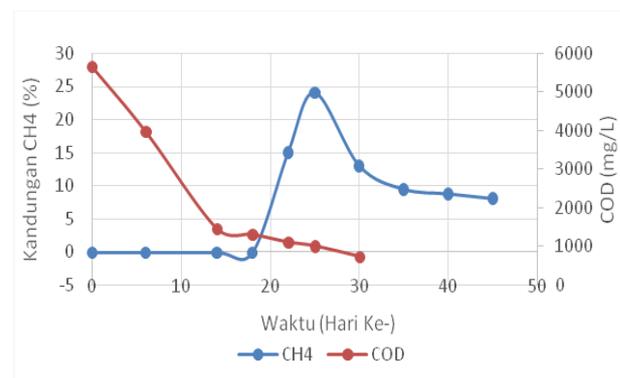
Nilai pH

Pada reaksi pembentukan biogas, pH menjadi indikator tercapainya reaksi pada masing-masing tahapan reaksi. Parameter operasi yang dipantau jauh lebih sering selama proses degradasi adalah parameter pH. Kecuali pada periode 10 hari pertama, pH reaktor 1 (R1) berada pada rentang 5-6,5. pH untuk reaktor 2 (R2) berada pada rentang 7-8 selama periode degradasi. Gambar 2 menunjukkan fluktuasi nilai pH selama operasi berlangsung. Pengasaman pada lindi dilakukan untuk

menjaga nilai pH R1 di rentang pH yang diinginkan untuk berlangsungnya proses hidrolisis, asidogenesis, dan asetogenesis. Nilai pH pada R2 relatif terjaga pada rentang 7-8, pH optimal proses metanogenesis (Deublein dan Steinhäuser, 2010), yang kemungkinan besar merupakan faktor utama terjadinya proses degradasi lindi sehingga dicapai efisiensi degradasi 86,9% pada hari ke-30 (Gambar 3).

Kandungan Biogas

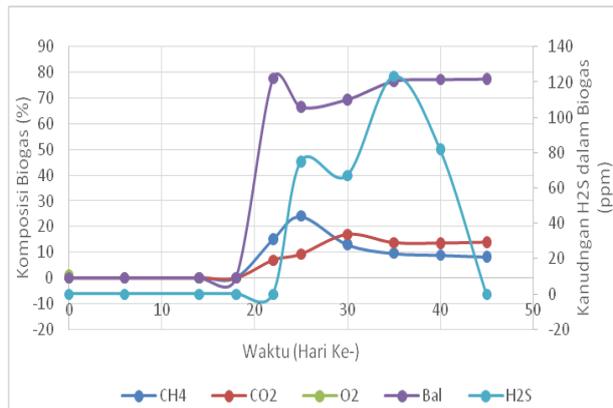
Gambar 3 memperlihatkan penurunan COD dan produksi CH₄ selama proses degradasi lindi berlangsung, dimana nilai COD terus mengalami penurunan dari semula 5.650 mg/L menjadi 740 mg/L pada hari ke-30 atau dengan efisiensi degradasi 86,9%. Penurunan nilai COD menunjukkan bahwa senyawa organik dalam lindi telah terdekomposisi sesuai dengan reaksi yang terjadi pada masing-masing reaktor. Produk hasil dekomposisi senyawa organik adalah biogas dengan komposisinya didominasi oleh metana (CH₄). Konsentrasi gas CH₄ yang dihasilkan dapat dihitung secara teoritis pada kondisi standar, dengan kandungan 1 kg BOD akan menghasilkan CH₄ sebanyak 0,35 m³. Berdasarkan perhitungan dengan metoda tersebut, dapat diketahui bahwa CH₄ yang dihasilkan selama 45 hari adalah sebesar 25,14 L dengan laju produksi CH₄ rata-rata sebesar 0,56 L/hari. Hasil pengukuran yang dilakukan di laboratorium menunjukkan bahwa produksi CH₄ rata-rata sebesar 0,044 L/hari dari total produksi sebanyak 2L selama 45 hari, dengan komposisi CH₄ terbesar adalah 24%. Komposisi CH₄ yang didapatkan ini setara dengan nilai kalori sebesar 2,14 kkal/m³. CH₄ mulai terbentuk setelah hari ke-18.



Gambar. 3 Produksi Biogas dan Penurunan Nilai COD.

Dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh Wicaksono dan Hadiansyah (2016) dengan bahan baku berupa sampah organik dari pasar dan kotoran sapi serta menggunakan reaktor yang sama, biogas mulai dihasilkan pada hari ke-62 dengan komposisi CH₄ 0,89% dengan efisiensi penurunan COD 10,9%. Produk CH₄ dan efisiensi penurunan COD yang didapatkan dalam penelitian ini jauh lebih tinggi dibandingkan penelitian yang dilakukan oleh Wicaksono dan Hadiansyah (2016).

Gambar 4 menunjukkan komposisi biogas yang dihasilkan selama proses degradasi lindi secara anaerobik.



Gambar. 4 Kompisisi Biogas yang Dihasilkan.

Kandungan pengotor pada biogas seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4 masih sangat tinggi; ditandai dengan simbol “bal”. Hal ini kemungkinan disebabkan karena gas yang terbentuk di reaktor tidak seluruhnya mengalir menuju *gas holder*, melainkan terjebak dalam reaktor. Hal ini dikarenakan cairan yang terdapat dalam reaktor terlalu sedikit dari total volume reaktor dan menyebabkan gas cenderung mengisi ruang pada reaktor dibanding mengalir menuju *gas holder*.

IV. PENUTUP

Kesimpulan

Penggantian peralatan pendukung pada reaktor anaerobik dua tahap telah berhasil dilakukan dengan produksi CH₄ sebanyak 2 liter selama 45 hari dengan efisiensi penurunan COD sebesar 86,9 % dan komposisi CH₄ terbesar 24%. CH₄ mulai terbentuk setelah hari ke-18 proses degradasi lindi secara anaerobik.

Saran

Untuk memperoleh komposisi CH₄ yang lebih proporsional dengan senyawa organik yang terdapat dalam lindi maka penelitian dapat dilanjutkan dengan memberikan pengumpanan dalam reaktor dengan pembebanan organik yang lebih besar.

V. DAFTAR PUSTAKA

Alimba, C.G., Bakare, A.A., and Arinola, O.G. 2009. “Effects of Municipal Solid Waste Leachate on Leucocyte and Differential Counts in Rats”. *Global Journal of Environmental Research*, Vol. 3, No. 3, pp. 135-140.

Wicaksono, H.K. dan Hadiansyah R. 2016. *Pemanfaatan Sampah Pasar menjadi Biogas dengan Metode Anaerobik Dua Tahap, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Bandung, Bandung.*

Hermanus, M.B., Polii, B., dan Mandey, L.C., 2015. “Pengaruh Perlakuan Aerob dan Anaerob Terhadap Variabel BOD, COD, pH, dan Bakteri

Dominan Limbah Industri Desiccated Coconut PT. Global Coconut Radey, Minahasa Selatan”. *J. Ilmu dan Teknologi Pangan*, Vol. 3, No.2, pp 48-58.

Budiastuti, H., Ghozali, M., Wicaksono, H.K., and Hadiansyah R., 2018. “Two Stage Anaerobic Reactor Design and Treatment To Produce Biogas From Mixed Liquor of Vegetable Waste”. *J. Physics: Conference Series*, Vol 953, pp. 1-8.

Mshandete, A.M., dkk., 2008. “Two Stage Anaerobic Digestion Pre-treated Sisal Leaf Decortication Residues : Hydrolases Activities and Biogas Production Profile”. *African Journal of Biochemistry Research*, Vol. 2, No. 11, pp. 211-218.

Tillman, D.A. 1991. *Ilmu Makanan Ternak Dasar*. Yogyakarta : Gadjah Mada University Press.

Febriani, 2011. *Fisiologi Mikroba : Bakteri Rumen*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Riau, Riau.

Mujdalipah, S. dkk., 2014. “Pengaruh Waktu Fermentasi Terhadap Produksi Biogas menggunakan Digester Dua Tahap Pada Berbagai Konsentrasi Palm Oil-Mill Effluent dan Lumpur Aktif”. *AGRITECH*, Vol. 34, No.1, pp 56-64.

Caturwati, N.K. dkk 2017. “Pengaturan Waktu Produksi Biogas dari Limbah Padat Organik dengan Air Lindi sebagai Starter dalam Anaerobic Digester untuk Mendapatkan Produksi yang Kontinu” *Jurnal Jurusan Teknik Mesin, Untirta*, Vol. 3, No. 1, pp. 63-68.

Hariyanto, S., Citrasari, N., dan Soediarti, T. 2014. *Karakterisasi Lindi Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah Sebagai Data Rancangan Teknologi Pengolahan Limbah Cair*. Lembaga Penelitian Universitas Airlangga, Surabaya.