

PENGARUH LAJU PEMBEBANAN ORGANIK TERHADAP PRODUKSI BIOGAS DARI LIMBAH CAIR SAGU MENGGUNAKAN BIOREAKTOR HIBRID ANAEROB

Lucy Yunitamel, Adrianto Ahmad, Ida Zahrina

Laboratorium Rekayasa Bioproses, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Riau
Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293
email: adriantounri@gmail.com

Abstract

Nowaday, production sago in Kabupaten Kepulauan Meranti reaches 450,000 tons per year. Increased production of sago starch is followed by an increase of sago wastewater. In producing sago starch needs 20,000 liters of water per ton of sago which 94% water will be wastewater. The wastewater has a high COD levels and potention to converted be biogas. One of treatment for sago wastewater to be biogas uses hybrid anaerobic bioreactor which combines the suspended growth systems and attached growth system. The object of this research is to determine the optimum of organic loading rate with highest biogas production. The research uses hybrid anaerobic bioreactor with volume 10 liters and media stones. The variation of the organic loading rate is 12,5: 16,7, 25 and 50 kgCOD/m³day and conditioned at room temperature. The results showed that the organic loading rate has influence in producing biogas. The biogas production optimum at the organic loading rate 25 kgCOD/m³day and steady state on 14th days with production of biogas is 41,600 ml.

Keywords: anaerobic, biogas, hybrid bioreactor, sago wastewater

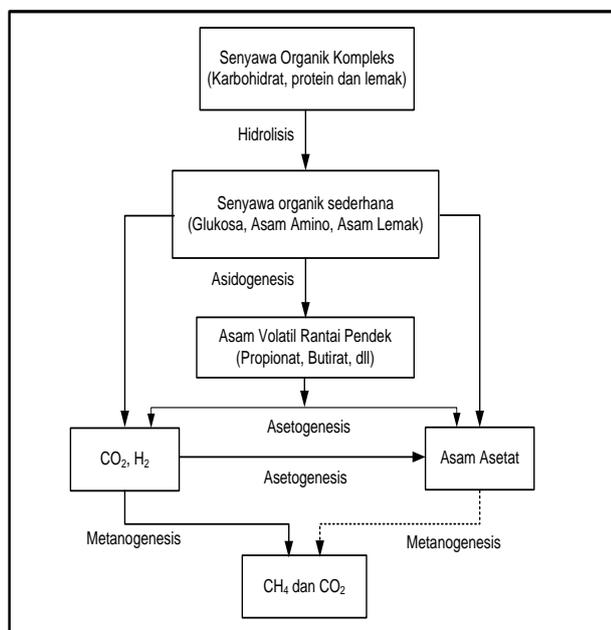
1 Pendahuluan

Salah satu isu global yang sering jadi perbincangan masyarakat Indonesia saat ini adalah mengenai krisis energi. Sistem energi saat ini juga terlalu bertumpu pada sumber energi fosil. Padahal bahan bakar fosil tidak dapat diperbaharui sehingga apabila digunakan terus-menerus akan habis. Oleh karena itu perlu dikembangkan suatu energi alternatif, salah satunya adalah pemakaian biogas. Biogas merupakan campuran beberapa gas hasil fermentasi dari bahan organik dalam kondisi anaerobik, dengan gas yang dominan adalah gas metana (CH₄). Biogas merupakan sumber energi yang dapat diperbarui (*renewable energy*) karena limbah organik selalu ada dan tersedia setiap waktu.

Indonesia merupakan salah satu negara penghasil sago terbesar di Dunia. Daerah

potensi penghasil sago di Indonesia meliputi Riau, Sulawesi Selatan, Sulawesi Tenggara, Sulawesi Utara, Maluku dan Papua. Di Kabupaten Kepulauan Meranti, sago memiliki luas area penanaman sago sebesar 47.172 ha [Wicahya dan Fikri, 2010]. Produksi sago di Kabupaten Kepulauan Meranti dapat mencapai 450.000 ton/tahun [Riau Pos, 2012]. Dari hasil pengolahan tepung sago tersebut, terdapat limbah yang dihasilkan yaitu limbah cair sago. Dalam memproduksi tepung sago dibutuhkan 20.000 liter air per ton sago [Banu et al, 2006]. Jadi dapat diperkirakan air yang dibutuhkan 9.000.000 kl air/tahun, yang mana 94% air tersebut akan menjadi limbah cair [Awg-Adeni et al, 2010], sehingga limbah cair yang dihasilkan dalam produksi sago sekitar 8.460.000 kl air/tahun.

Limbah cair sagu memiliki komposisi bahan organik dan kadar COD yang tinggi. Bahan organik tinggi yang terkandung dalam air buangan berpotensi untuk mencemari lingkungan sekitarnya. Pengolahan secara biologi merupakan salah satu alternatif usaha untuk menanggulangnya. Bahan organik tinggi (COD > 4.000 mg/L) lebih tepat diolah dengan menggunakan pengolahan biologi secara anaerob [Syafila et al, 2003]. Proses anaerob merupakan proses yang kompleks dengan melibatkan berbagai kelompok bakteri. Masing-masing kelompok bakteri yang terlibat mempunyai substrat tertentu [Ahmad, 2001]. Lintasan biodegradasi zat organik kompleks dalam proses anaerob tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Lintasan Biodegradasi Senyawa Organik Kompleks dalam Proses Anaerob [Pavlostathis dan Giraldo-Gomez, 1991]

Pengolahan limbah cair sagu pada penelitian ini dilakukan secara kontinu dengan menggunakan bioreaktor hibrid anaerob bermedia batu. Bioreaktor hibrid anaerob adalah bioreaktor pengolahan limbah cair yang memanfaatkan aktivitas mikroorganisme untuk menghilangkan atau mengurangi kandungan zat organik di dalam limbah cair pabrik dan mengkonversikannya menjadi biogas.

Biogas yang diproduksi menggunakan bioreaktor hibrid anaerob beroperasi pada suhu ruang. Sistem bioreaktor hibrid ini mampu bekerja dengan mencegah kehilangan biomassa (mikroorganisme), sehingga konsentrasi biomassa menjadi tinggi. Di dalam reaktor terdapat media yang berfungsi sebagai penahan biomassa dan sebagai tempat pertumbuhan mikroorganisme [Firdha, 2010]. Pada penelitian ini akan dilakukan pengolahan limbah cair sagu bermedia batu menggunakan bioreaktor hibrid anaerob. Melalui penelitian ini maka akan ditentukan pengaruh laju pembebanan organik terhadap produksi biogas serta menentukan laju pembebanan organik optimum dengan produksi biogas yang tinggi.

2 Metodologi

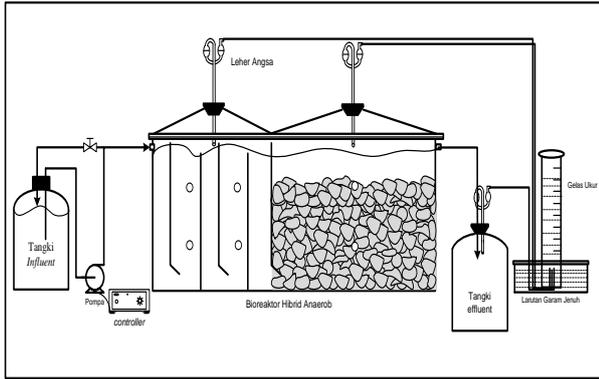
Limbah cair sagu diperoleh dari PT. Siberida Wahana Sejahtera (SWS) di Kabupaten Kepulauan Meranti. Karakteristik limbah cair sagu yang digunakan sebagai substrat dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Limbah Cair Sagu PT. SWS

Parameter	Nilai	Baku Mutu*	Satuan
pH	5,6	6-9	-
COD	50.000	300	mg/L

*Kepmen LH No. KEP 51-/MENLH/10/1995

Variabel proses yang digunakan adalah variasi laju pembebanan organik yaitu 12,5 kgCOD/m³hari, 16,7 kgCOD/m³hari, 25 kgCOD/m³hari, dan 50 kgCOD/m³hari. Parameter yang diamati adalah produksi biogas menggunakan metoda penampungan dengan larutan garam jenuh. Alat utama yang digunakan pada penelitian ini adalah Bioreaktor Hibrid Anaerob yang menyatukan sistem tersuspensi dan melekat. Gambar rangkaian alat Bioreaktor Hibrid Anaerob dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Rangkaian Peralatan Pengolahan Menggunakan Bioreaktor Hibrid Anaerob Bermedia Batu

Dari Gambar 2. dapat dilihat bahwa batu dimasukkan ke dalam bagian yang tidak bersekat dengan ketebalan $\frac{3}{4}$ dari tinggi cairan. Kemudian pada bagian yang tersuspensi dan melekat dimasukkan kultur campuran yang telah diaklimatisasi sehingga volume reaktor efektif cairan 10 L. Kemudian diinjeksikan gas nitrogen ke dalam sistem yang bertujuan untuk mengusir oksigen terlarut dalam cairan. Lalu didiamkan selama 3 hari untuk mengendapkan biomassa dari kultur campuran. Setelah itu, dialirkan umpan dengan laju alir 2 L/hari. Pola aliran mengikuti rezim di dalam sistem bioreaktor hibrid anaerob.

Kemudian limbah cair sugu yang akan diolah dimasukkan ke dalam tangki umpan. Dengan menggunakan pompa, limbah cair tersebut dialirkan ke dalam tangki dengan mengontrol bukaan *valve* sesuai dengan laju alir yang diinginkan. Aliran limbah cair sugu di dalam bioreaktor adalah turun dan naik mengikuti sekat yang ada di dalam bioreaktor hibrid anaerob dan pada akhirnya aliran akan keluar menuju tangki *effluent*. Pada bagian atas bioreaktor hibrid anaerob tersebut dilengkapi dengan leher angsa dan selang yang menuju ke tabung penampungan biogas.

Setelah keadaan tunak pada proses *start-up* tercapai, selanjutnya bioreaktor diberikan laju pembebanan organik yang berbeda-beda dengan mengatur laju alir yang berbeda-beda pula. Laju pembebanan organik yang diberikan adalah 12,5; 16,7; 25 dan 50

kgCOD/m³hari dan bioreaktor dioperasikan pada suhu ruang.

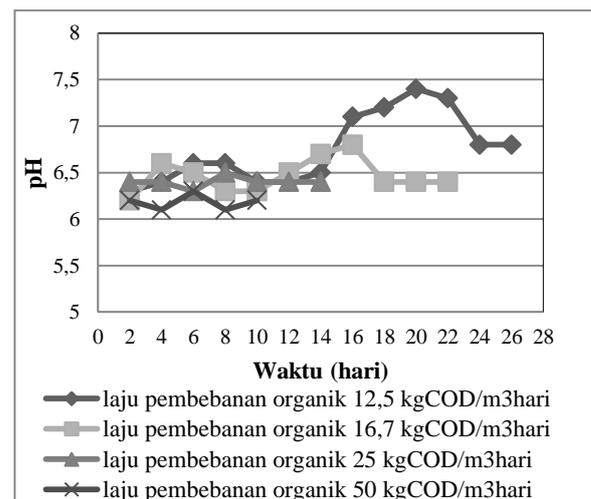
Proses operasional ini bertujuan untuk melihat pengaruh laju beban organik terhadap waktu serta kinerja optimal bioreaktor dalam memproduksi biogas. Dengan dilakukan variasi laju pembebanan organik maka dapat diketahui bioreaktor bekerja dan hasil pengolahannya baik atau tidak. Selain itu, pembebanan dengan waktu tinggal hidrolis tertentu bertujuan untuk memberikan pasokan makanan bagi bakteri anaerob sebagai nutrisi untuk pertumbuhan. Hal ini menyebabkan degradasi semakin baik.

3 Hasil dan Pembahasan

Hasil pengamatan produksi biogas dengan laju pembebanan organik yang divariasikan mulai dari 12,5; 16,7; 25 dan 50 kgCOD/m³hari pada tahap operasional bioreaktor hibrid anaerob akan ditampilkan dalam bentuk grafik.

3.1 Perubahan pH Selama Transien

Dilakukan pengukuran pH selama kondisi transien dengan rentang laju pembebanan organik 12,5; 16,7; 25 dan 50 kgCOD/m³hari. Hasil pengukuran pH tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Perubahan pH Selama Transien

Gambar 3. menunjukkan bahwa pH untuk keempat laju pembebanan organik bekerja pada rentang pH 6,1 – 7,4. pH rata-rata pada laju pembebanan organik 12,5; 16,7; 25 dan

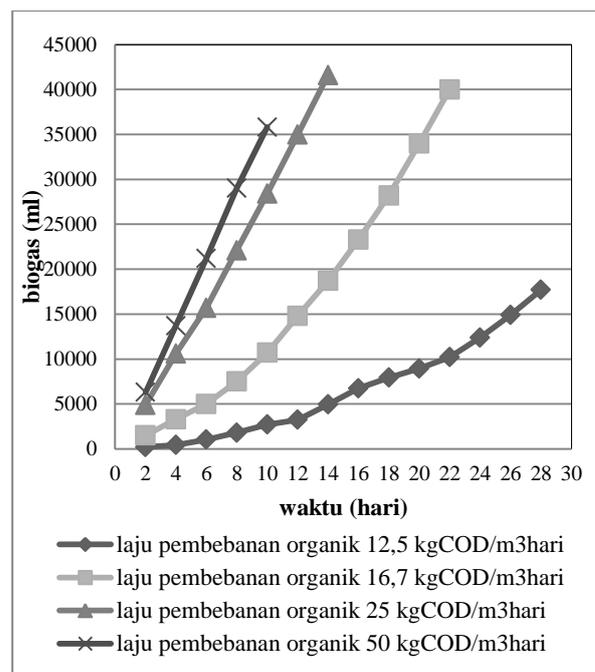
50 kgCOD/m³hari yaitu 6,76; 6,46; 6,4 dan 6,18. Dari hasil pengukuran nilai pH pada kondisi transien tersebut terlihat bahwa pH aktivitas mikroorganisme berada pada rentang pH optimum aktivitas mikroorganisme anaerob. Pada rentang pH tersebut diperkirakan mikroorganisme anaerobik yang digunakan di dalam bioreaktor dapat berkembang dengan optimum mengingat kondisi lingkungan mikroorganisme anaerobik berkisar pada pH antara 5,8 – 7,2 [Ahmad, 2004].

Walaupun bakteri pembentuk metan sangat peka terhadap pH, tetapi pH dalam reaktor tidak harus dikendalikan secara ketat. Pengaturan pH dapat dilakukan dengan menjaga umpan tidak terlalu asam agar kesetimbangan reaksi antara tahap asidogenik dan metanogenik terjaga baik. Pada kondisi tanpa bantuan penyeimbang pH maka pada nilai pH dibawah 6 aktivitas bakteri metan akan mulai terganggu dan bila mencapai 5,5 aktivitas bakterial akan terhenti sama sekali. Konsentrasi pH di dalam reaktor ini sangat dipengaruhi oleh jumlah asam lemak volatil (VFA), ammonia, CO₂ dan kandungan alkalinitas bikarbonat yang dihasilkan [Padmono, 2007].

Dari semua laju pembebanan organik, laju pembebanan organik 50 kgCOD/m³hari memiliki pH paling rendah, yaitu sebesar 6,18. Hal ini menandakan bahwa produksi asam organik relatif banyak dari yang lainnya, sehingga pH sistem menurun [Hamonangan, 2001]. Banyaknya asam organik yang diproduksi menyebabkan aktivitas bakteri metanogen terganggu dan tidak mampu mengkonversi akumulasi produksi asam organik ini [Ahmad, 2004].

3.2 Produksi Biogas Selama Transien

Dilakukan pengukuran produksi biogas selama kondisi transien dengan rentang laju pembebanan organik 12,5; 16,7; 25 dan 50 kgCOD/m³hari. Hasil pengukuran ini dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Produksi Biogas Selama Transien

Gambar 4. menunjukkan bahwa biogas yang diproduksi pada berbagai laju pembebanan organik akan mengalami kenaikan yang signifikan. Produksi biogas pada laju pembebanan organik 16,7 kgCOD/m³hari yaitu sebesar 17.700 mL dalam waktu 28 hari. Pada laju pembebanan organik 16,7 kgCOD/m³hari dihasilkan biogas sebesar 40.000 mL dalam waktu 22 hari. Pada laju pembebanan organik 25 kgCOD/m³hari dihasilkan biogas sebesar 41.600 mL dalam waktu 14 hari. Pada laju pembebanan organik 50 kgCOD/m³hari dihasilkan biogas sebesar 35.800 mL dalam waktu 10 hari.

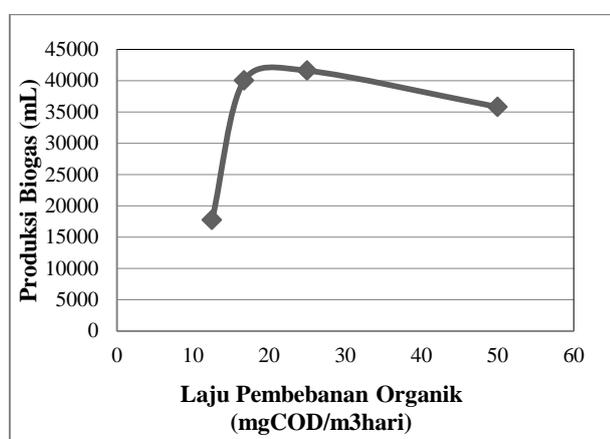
Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa biogas yang dihasilkan semakin meningkat seiring meningkatnya laju pembebanan organik. Hal ini menunjukkan bahwa adanya kemungkinan bakteri pembentuk metan yang terus beraktifitas dan mengkonsumsi bahan-bahan organik yang terkandung dalam umpan dan mendegradasi umpan (substrat) tersebut menjadi biogas [Bagus, 2008].

Suatu proses dapat dikatakan telah mencapai kondisi tunak apabila nilai COD relatif stabil. Untuk mempercepat proses dan mengoptimalkan kinerja bioreaktor, maka dilakukan peningkatan laju pembebanan

organik umpan [Bagus, 2008]. Dari data yang diperoleh, dapat diindikasikan bahwa bioreaktor hibrid anaerob yang digunakan mampu menunjukkan performa optimal dalam keadaan laju pembebanan organik yang terus ditingkatkan, namun juga perlu melihat waktu tinggal hidrolis yang menentukan lamanya degradasi.

3.3 Pengaruh Laju Pembebanan Organik terhadap Produksi Biogas

Produksi biogas pada laju pembebanan organik 12,5; 16,7; 25 dan 50 kgCOD/m³hari dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Pengaruh Laju Pembebanan Organik terhadap Produksi Biogas

Gambar 5. menunjukkan bahwa laju pembebanan organik berpengaruh terhadap produksi biogas. Terlihat pada laju pembebanan organik 12,5 kgCOD/m³hari produksi biogas 17.700 mL, pada laju pembebanan organik 16,7 kgCOD/m³hari produksi biogas meningkat menjadi 40.000 mL, dan pada laju pembebanan organik 25 kgCOD/m³hari produksi biogas sebesar 41.600 mL, sedangkan pada laju pembebanan organik 50 kgCOD/m³hari produksi biogas kembali menurun menjadi 35.800 mL. Dari data tersebut dapat ditentukan bahwa laju pembebanan optimum yaitu pada 25 kgCOD/m³hari dengan produksi biogas tertinggi yaitu 41.600 mL.

Dari keempat variasi laju pembebanan organik tersebut, mulai dari laju pembebanan organik 12,5; 16,7 dan 25 kgCOD/m³hari produksi biogas meningkat, namun produksi

biogas menurun saat laju pembebanan organik 50 kgCOD/m³hari. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Surya dan Riharjo (2011) yang menyimpulkan bahwa semakin besar tingkat pembebanan maka produksi biogas yang dihasilkan akan semakin besar. Hal ini dikarenakan semakin banyak substrat yang berkontak dengan mikroorganisme. Namun pada laju pembebanan organik 50 kgCOD/m³hari produksi biogas kembali menurun, hal ini disebabkan karena semakin cepat pula waktu kontakannya sehingga degradasi senyawa organik berlangsung sedikit yang mengakibatkan pada bioreaktor yang aktif hanya bakteri asidogenik. Sehingga diperkirakan yang banyak dihasilkan adalah H₂ dan CO₂ bukannya CH₄ dan CO₂ [Atikalidia, 2011].

Hasil tersebut sesuai dengan Mahajoeno (2010) yang menggunakan limbah cair pabrik minyak kelapa sawit menggunakan digester anaerob kolam tertutup berkapasitas 4500 m³ dengan variasi laju pengumpanan 25m³/hari sampai dengan 300 m³/hari, hasil penelitian menunjukkan bahwa volume biogas meningkat sesuai dengan peningkatan laju pengumpanan, dimana kinerja optimum bioreaktor adalah pada laju pengumpanan 200 m³/hari diproduksi biogas 10.000 m³/hari.

Sedangkan Syafila et al (2003) menyatakan bahwa produksi gas metan memiliki kaitan dengan proses pembentukan asam volatil. Makin banyak asam volatil yang terbentuk, diperlukan waktu tinggal sel bakteri metan yang lebih lama untuk mengkonsumsi seluruh asam tersebut. Dengan demikian, jika waktu retensi tetap, sedangkan konsentrasi organik dinaikkan, ada kecenderungan terjadinya penurunan pembentukan. Hal ini dibuktikan dengan hasil penelitiannya dengan bioreaktor hibrid anaerob bermedia batu dan menggunakan limbah cair mengandung molase dan dioperasikan pada variasi konsentrasi organik 10.000, 20.000, 30.000 dan 40.000 mg/L COD, dimana produksi biogas tertinggi yaitu pada konsentrasi organik 10.000 mg/L sebesar 479 ml/hari.

3.4 Studi Komparatif Kinerja Bioreaktor Hibrid Anaerob

Kinerja bioreaktor hibrid anaerob dapat ditinjau dengan membandingkan kinerjanya

dengan berbagai jenis limbah cair dan media pertumbuhan yang berbeda. Perbandingan kinerja bioreaktor tersebut ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan Produksi Biogas Menggunakan Bioreaktor Hibrid Anaerob dengan Jenis Limbah dan Media yang Berbeda

Limbah Cair	Media	Variabel	Produksi Biogas (mL/hari)	Pustaka
Mengandung Molase	Batu	Konsentrasi Organik	479	Syafila et al (2003)
Sawit	Cangkang Sawit	Laju Pembebanan Organik	340	Atikalidia (2011)
Sagu	Plastik Ring	Laju Pembebanan Organik	30.700	Banu et al (2006)
Sagu	Batu	Laju Pembebanan Organik	41.600	Penelitian ini (2012)

Tabel 2. menunjukkan bahwa menggunakan substrat limbah cair sagu dan media batu produksi biogas yang dihasilkan optimal. Hal ini dapat terjadi karena limbah cair sagu memiliki kandungan senyawa organik yang dapat dimanfaatkan oleh mikroorganisme untuk didegradasi menjadi biogas secara optimal, sehingga biogas yang dihasilkanpun menjadi optimal.

Selain itu produksi biogas optimal karena menggunakan media batu. Karena batu memiliki kelebihan yaitu tingkat kekasaran yang cukup baik yang cocok menjadi media bagi mikroorganisme untuk tumbuh dan berkembang melekat membentuk lapisan biomassa. Selain itu batu mempunyai luas permukaan per unit volume yang tinggi. Karena makin luas permukaan batu, maka makin banyak pula mikroorganisme yang hidup di atasnya [Wardhana, 2004]. Selanjutnya kelompok bakteri tersebut dapat memanfaatkan substrat limbah cair sagu dan menguraikannya hingga menjadi produk akhir yaitu biogas. Sehingga semakin banyak mikroorganisme yang hidup, maka semakin banyak pula substrat yang didegradasi menjadi biogas dan biogas yang dihasilkanpun semakin tinggi.

4 Kesimpulan dan Saran

Dari hasil penelitian dan pembahasan dapat diambil kesimpulan dan saran yaitu:

4.1 Kesimpulan

1. Laju pembebanan organik berpengaruh terhadap produksi biogas., pada saat laju pembebanan organik 12,5; 16,7; 25 dan 50 kgCOD/m³hari dihasilkan biogas sebesar 17.700, 40.000, 41.600 dan 35.800 mL.
2. Pada tiap variasi laju pembebanan organik mencapai kondisi tunak (*steady state*) dalam waktu yang berbeda, pada saat laju pembebanan organik organik 12,5; 16,7; 25 dan 50 kgCOD/m³hari dicapai kondisi tunak pada hari ke- 28, 22, 14 dan 10 hari.
3. Produksi biogas optimum yaitu pada laju pembebanan organik 25 kgCOD/m³hari sebesar 41.600 mL selama 14 hari.

4.2 Saran

Sebaiknya dalam penelitian digunakan GC (Gas Chromatography), sehingga dapat dianalisis komposisi senyawa-senyawa yang terkandung di dalam biogas.

Daftar Pustaka

- Ahmad, A., 2001, Biodegradasi Limbah Cair Industri Minyak Kelapa Sawit Dalam Sistem Pembangkit Biogas Anaerob, *Disertasi*, Program Pascasarjana ITB, Bandung.
- Ahmad, A., 2004, Studi Komparatif Sumber dan Proses Aklimatisasi Bakteri Anaerob pada Limbah Cair yang Mengandung Karbohidrat, Protein dan Minyak-Lemak, *Jurnal Sains dan Teknologi*, 1(3), 1-10.
- Atikalidia, M., 2011, Penyisihan Chemical Oxygen Demand (COD) dan Produksi Biogas Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit Dengan Bioreaktor Hibrid Anaerob Bermedia Cangkang Sawit, *Prosiding Semina Nasional Teknik Kimia Kejuangan*, Yogyakarta.
- Awg-Adeni, D.S., S. Abd-Aziz, K. Bujang dan M.A. Hassan, 2010, Bioconversion of Sago Residue Into Value Added Products, *African Journal of Biotechnology*, 14(9), 2016-2012.
- Bagus, I.S., 2008, Start-Up dan Perancangan Bioreaktor Anaerobik Untuk Pengolahan Limbah Cair dengan Konsentrasi Garam Tinggi, *Skripsi*, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Banu, J.R., S. Kaliappan dan D. Beck, 2006, Treatment of Sago Wastewater Using Hybrid Anaerobic Reactor, *Chemical Engineering Journal*, 1(41), 56-62.
- Firdha, I., 2010, Penentuan Waktu Tinggal Hidrolik Terhadap Penyisihan COD (Chemical Oxygen Demand) Limbah Cair Pabrik Minyak Sawit dengan Bioreaktor Hibrid Anaerob bermedia Batu, *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Kejuangan*, Yogyakarta.
- Hamonangan, S., 2001, Pengolahan Limbah Cair Minyak Kelapa Sawit dengan Gabungan Proses Anaerob-Membran *Tesis*, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Keputusan Menteri LH, Nomor KEP 51/MENLH/10/1995 tentang *Baku Mutu Limbah cair bagi Kegiatan Industri*.
- Mahajoeno, E., 2010, Pengembangan Energi Terbarukan Dari Limbah Cair Pabrik Minyak Kelapa Sawit, Institut Pertanian Bogor.
- Padmono, D., 2007, Kemampuan Alkalinitas Kapasitas Peyangga (Buffer Capacity) Dalam Sistem Anaerobik Fixed Bed, *Jurnal Teknik Lingkungan*, 2(8), 119-127.
- Pavlostathis, S.G., T.L. Miller dan M.J. Wolin, 1988, Kinetics of Insoluble Cellulose Fermentation by Continuous Cultures of *Ruminococcus albus*, *Appl. Environ. Microbiol.*, 11(54), 2660-2663.
- Riaupos, 2012, Meranti Penghasil Sagu Terbesar Ketiga di Dunia, <http://www.riapos.com>, 28 April 2012.
- Surya dan I. Raharjo, Production Of Renewable Energy (Biogas) and Liquid Organic Fertilizer For Plants From Waste Treatment Tapioca Industrial Enviromentally, *Seminar Nasional Sains dan Teknologi*, Bandar Lampung.
- Syafila, M., A. H. Djadjadiningrat dan M. Handajani, 2003, Kinerja Bioreaktor Hibrid Anaerob dengan Media Batu untuk Pengolahan Air Buangan yang Mengandung Molase, *Prosiding ITB Sains dan Teknologi*, Bandung.
- Wardhana, A., 2004, Dampak Pencemaran Lingkungan, <http://www.gedehace.blogspot.com/2006/04/anaerobic-filter.html>, 26 Februari 2012.
- Wicahya, I., dan D.R.A. Fikri, 2010, *Pengembangan Energi Terbarukan Melalui Pemanfaatan Sumber Daya Alam Indonesia Sebagai Upaya Peningkatan Ketahanan Energi Nasional*, Lomba Rancang Pabrik Tingkat Nasional.