



Pengaruh *Organic Loading Rate* Pada Produksi Biohidrogen dari Sampah Buah Melon (*Cucumis melo L.*) Menggunakan Reaktor Alir Pipa

Nurkholis*, Sarto, dan Muslikhin Hidayat
Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada
Jl. Grafika No. 2, Yogyakarta, 55281

*Alamat korespondensi: nurkholis1@mail.ugm.ac.id

Submisi: 17 Maret 2017; Penerimaan: 28 April 2017

A B S T R A C T

The energy crisis and adverse effects from the use of fossil fuels require the development of energy sources that are non-polluting and renewable, such as bio-H₂. Bio-H₂ can be produced from organic biomass such as melon fruit waste, because it is available in large quantities and has adequate content of organic fraction. Production of bio-H₂ from melon fruit waste was performed through dark fermentation on the pipe flow reactor consisting of microorganism acclimatization phase and continuous substrate feeding phase. Variation of organic loading rate (OLR) were 6.04 kg VS/(m³.day) (OLR-1), 7.62 kg VS/(m³.day) (OLR-2) and 26.31 kg VS/(m³.day) (OLR-3). Gas and liquid samples were taken from the reactor for analysis of H₂ concentration, volatile solid (VS) and volatile fatty acid (VFA). The results of the study showed that the optimal production of bio-H₂ up to 90.89 mL/g VS was achieved on variations OLR-3 is 26.31 kg VS/ (m³.day) with substrate degradation efficiency of 45.39%. The concentration of organic acids produced ranged from 400-800 mg/L and acetic acid was the dominant product with an average concentration of 442.93 mg/ L.

Keywords: Bio-H₂, Organic Loading Rate (OLR), Melon Fruit Waste, Plug Flow Reactor

A B S T R A K

Krisis energi dan dampak buruk dari penggunaan bahan bakar fosil menuntut pengembangan sumber energi yang bersifat non-polutif dan terbarukan, misalnya bio-H₂. Bio-H₂ dapat di produksi dari biomassa organik seperti sampah buah melon, karena terdapat dalam jumlah banyak dan memiliki kandungan fraksi organik yang memadai. Pada penelitian ini produksi bio-H₂ dari sampah buah melon dilakukan secara fermentasi gelap pada reaktor alir pipa yang terdiri dari tahap aklimatisasi mikroorganisme dan tahap pengumpanan substrat secara kontinu. Variasi *organic loading rate* (OLR)

yang digunakan adalah 6.04 kg VS/(m³.hari) (OLR-1), 7.62 kg VS/(m³.hari) (OLR-2) dan 26.32 kg VS/(m³.hari) (OLR-3). Sampel gas dan cairan diambil dari dalam reaktor untuk di analisis kadar H₂, kadar *volatile solid* (VS) dan *volatile fatty acid* (VFA). Hasil penelitian menunjukkan bahwa produksi bio-H₂ yang optimal sebesar 90.89 mL/g VS pada variasi OLR-3 yaitu 26.32 kg VS/(m³.hari) dengan efisiensi degradasi substrat mencapai 45.39%. Konsentrasi asam-asam organik yang dihasilkan berkisar antara 400-800 mg/L dan asam asetat adalah sebagai produk yang dominan dengan konsentrasi rata-rata sebesar 442.93 mg/L.

Kata kunci: Bio-H₂, *Organic Loading Rate* (OLR), Sampah Buah Melon, Reaktor Alir Pipa.

1. Pendahuluan

Permintaan energi secara global masih bergantung pada bahan bakar fosil. Hal ini mengakibatkan menipisnya cadangan sumber energi dan meningkatnya harga pasokan yang tersisa. Krisis energi dan dampak buruk dari penggunaan bahan bakar fosil menuntut pengembangan sumber energi yang bersifat non-polutif dan terbarukan. Hidrogen (H₂) diharapkan menjadi sumber energi utama di masa depan, karena bersifat non-polutif, fleksibel dalam penggunaan sebagai bahan bakar dan dapat diperbarui. H₂ memiliki kandungan energi sebesar 142.35 kJ per gram. Angka tersebut 2.75 kali lebih besar dari bahan bakar hidrokarbon (Logan, 2004). Fermentasi gelap adalah salah satu proses produksi bio-H₂ yang menguntungkan bagi lingkungan dan memungkinkan untuk dilakukan karena dapat secara simultan mengolah limbah dan memproduksi H₂ (Hu dkk., 2013). Pada fermentasi gelap, *yield* dan laju konversi substrat menjadi bio-H₂ oleh bakteri tergantung pada jenis reaktor dan parameter operasi reaktor, seperti *organic loading rate* (OLR) (Arimi dkk., 2015). Nilai OLR mengacu pada jumlah bahan organik yang dinyatakan dalam *volatile solid* (VS) atau *chemical oxygen demand* (COD) per volume reaktor pada proses peruraian anaerobik dalam jangka waktu tertentu (Mariakakis dkk., 2011). Pada kondisi anaerobik, kendala yang terjadi pada reaktor konvensional adalah terjadinya *wash-out* yaitu terbawa keluarnya populasi mikroba bersama keluarnya air limbah (Beltran dkk., 1999). Hal ini mengakibatkan produksi bio-H₂ menjadi tidak optimal.

Reaktor alir pipa memiliki potensi yang signifikan untuk digunakan dalam fermentasi gelap, karena pola aliran di dalam reaktor meminimalkan proses pencampuran (*mixing*) dan mendekati aliran *plug flow* sehingga lumpur tidak mudah terbawa keluar reaktor (*wash-out*). Reaktor alir pipa menghasilkan bio-H₂ (biogas) yang tinggi untuk setiap kandungan bahan organik terdegradasi dan per unit reaktor, karena aktivitas lumpur yang tinggi, utilisasi substrat yang baik serta lebih tahan terhadap *shock loading* (Chen dkk., 2002). Produksi bio-H₂ mempunyai karakteristik beroperasi pada waktu tinggal atau *hydraulic retention time* (HRT) yang singkat (Baghchehsaraee, 2009). *Hydraulic retention time* yang singkat lebih dipilih dengan pertimbangan keuntungan ekonomi, karena parameter-parameter seperti kadar dan *yield* bio-H₂ dipengaruhi oleh HRT (Fan, 2006). *Hydraulic retention time* singkat berkorelasi dengan OLR yang tinggi, karena kemampuan mikroba mengonsumsi fraksi organik lebih cepat pada HRT singkat (Ozmihci dan Kargi, 2011), sehingga produksi bio-H₂ meningkat.

Jayalakshmi dkk. (2009) melakukan studi terhadap kinerja reaktor alir pipa untuk produksi H₂ secara kontinyu dari peruraian anaerobik fase padat sampah dapur yang terdiri dari sampah makanan 51.4 kg/ hari (66.02%), sampah sayur 20.1 kg/ hari (26.96%), ampas teh 0.75 kg/ hari (0.96%), cangkang telur 0.85 kg/ hari (1.09%), bahan pembungkus 1.1 kg/ hari (1.36%) dan abu 2.8 kg/ hari (3.61%) dengan inokulum *slurry digester* biogas. Pada penelitian ini dipelajari profil *total solid* (TS), *volatile solid* (VS), *total organic carbon* (TOC), total nitrogen Kjeldahl dan pH per interval waktu 7 hari pada produksi

H₂. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar H₂ dalam biogas mencapai sekitar 46 ± 7% dan sisanya CO₂, dengan *yield* H₂ maksimum mencapai 72 mL H₂/ g VS (40% VS terdegradasi) pada pH 5.5-6. Produk metabolit terlarut yang dominan adalah asam butirat (45-50%), asam asetat (20-30%) dan asam propionat (10-20%).

Pada penelitian ini, evaluasi pengaruh OLR terhadap produksi bio-H₂ dari sampah buah melon (*Cucumis melo L.*) dilakukan dengan menggunakan reaktor alir pipa. Produksi asam-asam organik sebagai hasil samping (*by-product*) dalam fermentasi gelap juga menjadi bagian yang dipelajari dan dievaluasi.

2. Metode Penelitian

2.1. Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah antara lain limbah buah melon (*bad stock*), isolat kultur mikroba campuran dari *digester* biogas substrat sampah buah di Pasar Buah dan Sayur 'Gemah Ripah', Gamping, Kabupaten Sleman, Yogyakarta, *digester* biogas substrat ampas tahu di Industri Tahu, Srandakan, Kabupaten Bantul, Yogyakarta dan *digester* biogas substrat kotoran sapi di Kebun Pendidikan Pelatihan dan Pengembangan Pertanian UGM, Berbah, Kabupaten Sleman, Yogyakarta, *aquadest*, HCl 37% p.a (Merck), NaOH p.a (Merck), pepton (Merck), *Yeast Extract* (Merck), glukosa (Merck), KH₂PO₄ (Merck), Na₂HPO₄ p.a (Merck), MgSO₄.7H₂O p.a (Merck), NaHCO₃ p.a (Merck), *resazurin* (Sigma Aldrich), *L-Cystein-HCl* (Merck), KH₂PO₄ (Merck), Na₂HPO₄ p.a (Merck),

MgSO₄.7H₂O p.a (Merck), NaHCO₃ p.a (Merck), gas N₂ dan alkohol 96%.

2.2. Alat Penelitian

Reaktor yang digunakan berbentuk silinder dengan *panjang* 1 m dan diameter 19 cm dengan volum efektif 14 L. Reaktor dibuat dari bahan akrilik dan dilengkapi pengukur gas (*high gasometer*). Rangkaian alat disajikan pada Gambar 1.

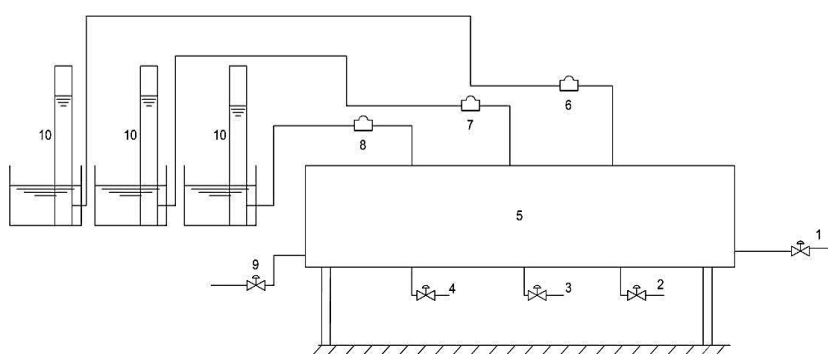
2.3. Prosedur Penelitian

2.3.1. Pra-perlakuan dan Pengkayaan Inokulum

Proses pra-perlakuan berfungsi untuk menonaktifkan bakteri metanogenik yang bersifat mengonsumsi H₂ untuk membentuk gas CH₄. Proses deaktivasi bakteri metanogenik dilakukan dengan perlakuan pengasaman (*acid treatment*) melalui penambahan HCl 37% dengan konsentrasi 2M ke dalam inokulum segar sampai pH 3 selama 24 jam. Adapun proses pengayaan inokulum dilakukan dengan menginokulasi isolat kultur mikroba ke dalam larutan medium PYG (pepton-yeast-glukosa) yang terdiri dari 10 g/ L pepton, 10 g/ L *yeast extract*, 10 g/ L glukosa, 0.001 g/ L *resazurin* dan 0.5 g/ L *L-Cystein-HCl*.

2.3.2. Tahap Produksi Bio-H₂

Mula-mula reaktor dialiri (*flush*) dengan nitrogen selama 10 menit untuk mendapatkan kondisi anaerobik dan menurunkan tekanan parsial (Hussy dkk., 2003). Kemudian reaktor diisi dengan campuran inokulum, substrat dan medium nutrisi (*seeding*) dengan perbandingan 10%:30%:60% dari total volume kerja reaktor.



Keterangan Gambar:

1. Masuk
2. Tempat pengambilan cairan 1
3. Tempat pengambilan cairan 2
4. Tempat pengambilan cairan 3
5. Reaktor alir pipa
6. Tempat pengambilan gas 1
7. Tempat pengambilan gas 2
8. Tempat pengambilan gas 3
9. Keluar
10. High gasometer

Gambar 1. Rangkaian Alat Penelitian

Tahap *start-up* dijalankan selama ± 2 hari sampai mencapai kondisi *steady-state* yaitu ketika pembentukan biogas stabil dan terdapat penurunan nilai kandungan VS (efisiensi degradasi substrat = 5%) (Vijayaraghavan dkk., 2014). Setelah tahap *start-up* selesai, proses pengumpanan substrat selanjutnya dilakukan dengan variasi OLR yaitu 6.04 kg VS/(m³.hari) (OLR-1), 7.62 kg VS/(m³.hari) (OLR-2) dan 26.31 kg VS/(m³.hari) (OLR-3) secara bertahap.

2.3.3. Analisis hasil

Sampel gas dan cairan diambil dari reaktor untuk dilakukan analisis kadar H₂ menggunakan *Gas Chromatography* (GC) Shimadzu GC 14B, VS dengan metode gravimetri dan analisis VFA menggunakan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS) Hewlett-Packard 5890 II.

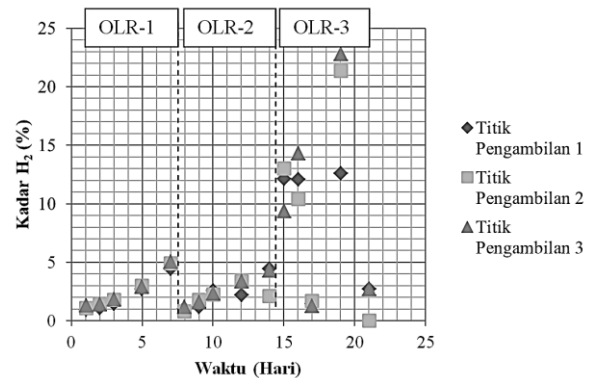
3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pengaruh OLR Terhadap Kadar H₂ dan Volume Bio-H₂

Kadar H₂ berkaitan dengan efisiensi aktivitas mikroorganisme dalam mengurai substrat menjadi H₂ dibandingkan dengan produksi asam organik atau untuk pemeliharaan sel. Kadar H₂ menunjukkan kinerja peruraian anaerobik, yaitu kondisi sistem dalam keadaan bebas oksigen. Keberadaan oksigen akan menghambat kinerja bakteri pemroduksi H₂ karena beberapa spesies bakteri yang memproduksi H₂ bersifat anaerob obligat. Pada penelitian ini diperoleh kadar H₂ dalam biogas berkisar antara 0.95-22.81%. Profil kadar H₂ disajikan pada Gambar 2.

Gambar 2. menunjukkan bahwa pada variasi OLR-1, OLR-2 dan OLR-3, kadar H₂ memiliki kecenderungan meningkat seiring waktu. Pada hari ke-1, kadar H₂ masih relatif rendah karena mikroorganisme perlu melakukan penyesuaian terhadap kondisi lingkungan sehingga konversi substrat menjadi H₂ belum optimal. Sehingga pada hari pertama dapat dikatakan sebagai fase *lag* atau fase penyesuaian mikroorganisme. Sedangkan pada ke-2 sampai ke-7, kadar H₂ meningkat seiring dengan terjadinya fase

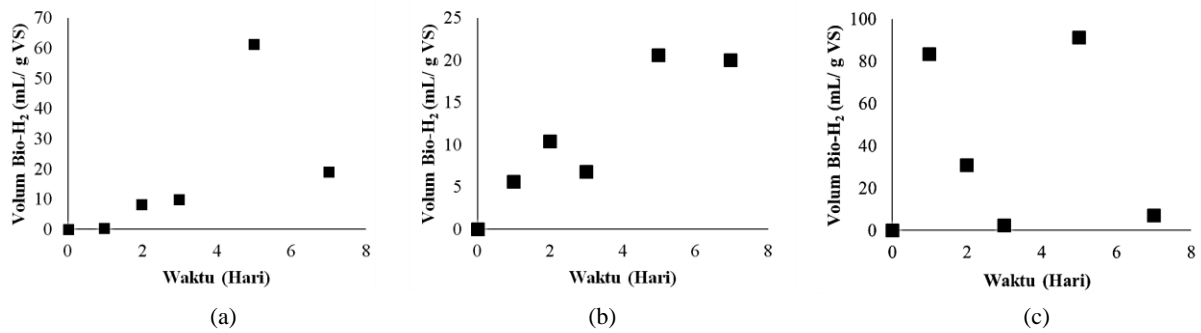
pertumbuhan eksponensial. Pada fase ini terjadi produksi H₂ dalam jumlah besar.



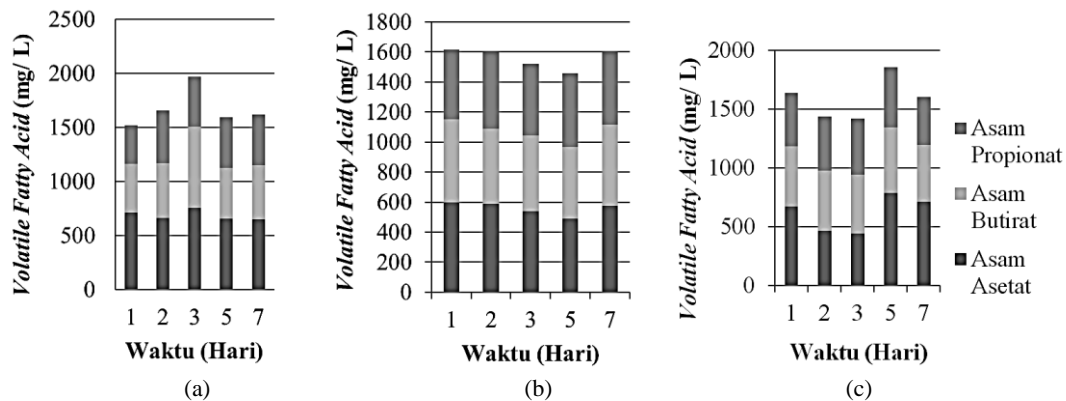
Gambar 2. Grafik Profil Kadar H₂ (%) Pada Berbagai OLR

Hasil yang diperoleh dari variasi OLR-3 menunjukkan bahwa sistem dalam reaktor menjadi tidak stabil. Hal ini menyebabkan kadar H₂ menjadi fluktuatif selama waktu operasi dengan OLR₃. Ketidakstabilan sistem diakibatkan beban organik yang tinggi dan hal ini yang menyebabkan terjadinya *wash-out* sehingga menurunkan kadar H₂. Namun sebaliknya, produksi dapat pula meningkat karena aktivitas mikroba yang baru tumbuh. Kadar H₂ yang tertinggi tercapai pada OLR 26.32 kg VS/(m³.hari) (OLR-3) yaitu sebesar 22.81%. Semakin besar nilai OLR maka semakin tinggi kadar H₂ yang diperoleh. Hal ini disebabkan karena banyaknya ketersediaan substrat yang akan dikonversi oleh mikroba menjadi H₂.

Produksi bio-H₂ berkaitan dengan besarnya kadar H₂ dalam biogas yang dihasilkan dari peruraian anaerobik. Kadar H₂ dapat dipengaruhi oleh kinerja peruraian anaerobik dan dipengaruhi oleh OLR. Produksi bio-H₂ yang dihasilkan juga dipengaruhi oleh asam-asam organik yang terbentuk, karena keberadaan asam-asam organik dapat menghambat produksi bio-H₂. Pada penelitian ini, produksi bio-H₂ berkisar antara 0.32-90.89 mL/ g VS. Pengaruh OLR terhadap produksi bio-H₂ disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Hasil Eksperimen Produksi Bio-H₂ (mL/ g VS) pada OLR-1 (a), OLR-2 (b) dan OLR-3 (c)



Gambar 4. Distribusi Volatile Fatty Acid (mg/ L) pada OLR-1 (a), OLR-2 (b) dan OLR-3 (c).

Gambar 3. menunjukkan gambaran secara umum kecenderungan produksi bio-H₂ pada berbagai variasi OLR semakin meningkat seiring waktu. Hal ini terjadi karena semakin lama mikroorganisme akan mampu beradaptasi dengan baik, sehingga dapat menguraikan substrat dengan lebih efektif. Produksi bio-H₂ tertinggi pada masing-masing OLR berturut-turut sebesar 60.98 mL/ g VS (pada OLR-1) dengan efisiensi degradasi substrat mencapai 55%, 20.55 mL/ g VS (pada OLR-2) dengan efisiensi degradasi substrat sebesar 55.92% dan 90.89 mL/ g VS (pada OLR-3) dengan efisiensi degradasi substrat sebesar 45.39%. Produksi bio-H₂ tertinggi diperoleh dari reaktor dengan OLR sebesar 26.32 kg VS/(m³.hari) (OLR-3). Produksi bio-H₂ pada OLR-3 cenderung fluktuatif. Hal ini disebabkan karena pada OLR yang tinggi, sistem menjadi tidak stabil akibat terjadinya *shock loading*. Hal ini dapat disebabkan karena pada OLR-3, kadar H₂ dalam biogas relatif tinggi karena kondisi sistem dalam keadaan ideal bagi mikroba penghasil H₂,

misalnya ketersediaan substrat yang cukup dan pH lingkungan. Pada variasi OLR-3, pH dalam keadaan ideal bagi mikroba penghasil H₂, sehingga substrat digunakan untuk membentuk H₂ dibandingkan dengan produk lain. Pada siklus OLR₃ pH lingkungan adalah 4.5. Pada pH 4.5-5 merupakan rentang pH yang menghasilkan bio-H₂ tertinggi (Hwang dkk., 2004). Volume bio-H₂ yang tinggi juga dapat disebabkan karena pada siklus OLR-3, waktu tinggal substrat di dalam reaktor relatif singkat sehingga produksi VFA menjadi lebih rendah. Semakin singkat waktu tinggal substrat maka semakin sedikit kandungan bahan organik yang terurai dan terkonversi menjadi VFA (Prabhudessai, 2013). Produksi asam-asam organik dapat menyebabkan kematian sel bakteri pemroduksi bio-H₂ karena terjadi penghambatan oleh asam organik yang terlalu banyak.

3.2. Pengaruh OLR Terhadap Volatile Fatty Acid (VFA)

Asam-asam organik (VFA) merupakan produk samping pada produksi bio-H₂ secara fermentasi gelap. Pada penelitian ini, asam-asam organik yang dihasilkan adalah asam asetat, asam butirat dan propionat. Profil distribusi asam-asam organik disajikan pada Gambar 4.

Gambar 4. menunjukkan bahwa konsentrasi asam-asam organik yang dihasilkan pada berbagai variasi OLR berkisar antara 400-800 mg/ L. Produk VFA pada fermentasi gelap yang dominan adalah asam asetat dengan konsentrasi rata-rata sebesar 442.93 mg/ L, sedangkan konsentrasi asam butirat dan asam propionat secara berturut-turut sebesar 372.21 mg/ L dan 333.03 mg/ L.

Berdasarkan hasil dari penelitian ini, produksi asam VFA total pada masing-masing OLR secara berturut-turut adalah 1193.65 mg/ L (OLR-1), 1114.49 mg/ L (OLR-2) dan 1136.35 mg/ L (OLR-3). Hal ini kemungkinan disebabkan karena pada OLR rendah 6.04 kg VS/(m³.hari) (OLR-1), waktu tinggal substrat di dalam reaktor akan semakin lama, sehingga kandungan bahan organik akan terurai lebih banyak. Hal ini menunjukkan bahwa produksi VFA juga akan meningkat. Pada OLR yang tinggi yaitu 26.32 kg VS/(m³.hari) (OLR-3), waktu tinggal substrat akan singkat menyebabkan konsentrasi VFA lebih rendah. Rendahnya kadar VFA disebabkan karena semakin singkat waktu tinggal substrat maka semakin sedikit kandungan bahan organik yang terurai dan terkonversi menjadi VFA (Prabhudessai, 2013).

Konsentrasi VFA sangat berpengaruh terhadap kinerja peruraian anaerobik. *Volatile fatty acid* yang teridentifikasi pada konsentrasi tinggi menunjukkan kegagalan pada sistem (Kinyua, 2011). Pada konsentrasi VFA > 2000 mg/ L dapat menyebabkan inhibisi. Inhibisi VFA menurunkan kinerja mikroorganisme pada tahap hidrolisis dan bahkan dapat menyebabkan kematian sehingga produksi biogas berkurang. Hal ini dapat dilihat pada konsentrasi VFA yang tinggi yaitu 1193.65 mg/ L (OLR₁), kadar H₂ akan rendah yaitu berkisar 0.95-5.02% dengan

volum bio-H₂ 60.98 mL/ g VS, dan sebaliknya pada konsentrasi asam lemak volatil yang rendah 1136.35 mg/ L (OLR₃), kadar H₂ akan tinggi yaitu berkisar 2.74-22.81% dengan volum bio-H₂ 90.89 mL/ g VS.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa:

1. *Organic loading rate* (OLR) yang optimal untuk menghasilkan bio-H₂ adalah sebesar 26.31 kg VS/(m³.hari).
2. Volume bio-H₂ yang dihasilkan pada berbagai variasi OLR berkisar antara 0.31-90.89 mL/ g VS dengan efisiensi degradasi substrat berkisar 19.08-63.41%.
3. Konsentrasi *volatile fatty acid* (VFA) yang dihasilkan pada berbagai variasi OLR yang digunakan dalam penelitian ini berkisar antara 400-800 mg/ L. Asam asetat merupakan produk yang dominan dengan konsentrasi rata-rata sebesar 442.93 mg/ L.

5. Daftar Pustaka

- Arimi, M. M., Knodel, J., Kiprop, A., Namango, S. S., Zhang, Y. and Geißen, and Sven-Uwe, 2015, Strategies for Improvement of Biohydrogen Production from Organic-Rich Wastewater: A Review, *Biomass and Bioenergy*, 75, 101-118.
- Baghchehsaraee, B., 2009, Batch and Continuous Biohydrogen Production Using Mixed Microbial Culture, Dissertation, The University of Western Ontario, Canada.
- Beltran, F. J., Garcia-Araya, J. F., and Alvarez, P. M., 1999, Wine Distillery Wastewater Degradation: Improvement of Aerobical Biodegradation by Means of an Integrated Chemical (Ozone)-biological Treatment, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47 (9), 3919-24.
- Chen, C. C., Lin, C. Y., and Lin, M. C., 2002, Acid-base Enrichment Enhances Anaerobic Hydrogen Production Process, *Appl Microbiol Biotechnol*, 58(2), 224-8.

- Fan, K. S., 2006, Effect of Hydraulic Retention Time on Anaerobic Hydrogenesis in CSTR, *Bioresource Technology*, 97, 84-9.
- Hu, C. C., Giannis, A., Chen, Chia-Lung, Qi, W., and Wang, Jing-Yuan, 2013, Comparative Study of Biohydrogen Production by Four Dark Fermentative Bacteria, *Int. J. Hydrogen Energy*, 38, 15686-15692.
- Hussy, I., Hawkes, F. R., Dinsdale, R., and Hawkes, D. L., 2003, Continuous Fermentative Hydrogen Production from a Wheat Starch Co-Product by Mixed Microflora, *Biotech Bioeng*, 84(6), 619-26.
- Hwang, M. H., Jang, N. J., Hyun, S. H., and Kim, I. S., 2004, Anaerobic Biohydrogen Production from Ethanol Fermentation: The Role of pH, *J. Biotechnol*, 111(3), 297-309.
- Kinyua, M. N., 2013, Effect of Solids Retention Time on the Denitrification Potential of Anaerobically Digested Swine Waste, *Theses and Dissertations*, University of South Florida, USA.
- Logan, B. E., 2004, Extracting Hydrogen and Electricity from Renewable Resources, *Environmental Sci. Tech.*, 38(9), 160-7.
- Mariakakis, I., Bischoff, P., Krampe, J., Meyer, C. and Steinmetz, H., 2011, Effect of Organic Loading Rate and Solids Retention Time on Microbial Population During Biohydrogen Production by Dark Fermentation in Large Lab-scale, *Int. J. Hydrogen Energy*, 36(17), 10690-700.
- Ozmihci, S., and Kargi, F., 2011, Dark Fermentative Biohydrogen Production from Wheat Starch Using Co-Culture with Periodic Feeding: Effects of Substrat Loading Rate, *Int. J. of Hydrogen Energy*, 36, pp. 7089-7093.
- Prabhudessai, V., 2013, Anaerobic Digestion of Food Waste in a Horizontal Plug Flow Reactor, *Thesis*, Institute of Technology and Science Pilani (Rajasthan), India.
- Vijayaraghavan, K., Ahmad, D., and Bin Ibrahim, M. K., 2006, Biohydrogen Generation from Jackfruit Peel Using Anaerobic Contact Filter, *Int. J. Hydrogen*, 31, 569-579.