

PENGARUH *HYDRAULIC RETENTION TIME* PADA PRODUKSI BIOHIDROGEN DARI SAMPAH BUAH MELON (*Cucumis melo L.*) MENGGUNAKAN REAKTOR ALIR PIPA SECARA KONTINYU

Nurkholis*, Sarto, Muslikhin Hidayat

Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

Jl. Grafika No. 2, Sleman, Yogyakarta 55281

*Email: nurkholis1@mail.ugm.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh *hydraulic retention time* (HRT) terhadap laju produksi dan yield bio-H₂ dari sampah buah melon secara kontinyu menggunakan reaktor alir pipa, termasuk juga produksi asam-asam organik sebagai hasil samping (*by-product*). Penelitian dilakukan dalam 2 tahap, yaitu pra-perlakuan dan pengkayaan inokulum campuran sludge dari biodigester sampah buah, tahu dan kotoran sapi dengan menggunakan HCl 37% 2M (*acid treatment*) dan tahap proses produksi H₂. Proses produksi H₂ dilakukan secara fermentasi gelap, dengan terlebih dahulu dilakukan aklimatisasi (*start-up*) mikroorganisme yang terlibat dalam proses fermentasi gelap. Proses pengumpulan substrat selanjutnya dilakukan dengan variasi HRT 7 hari, 5 hari dan 3 hari secara bertahap dalam waktu 21 hari. Sampel gas dan cairan diambil dari reaktor untuk dilakukan analisis kadar H₂, volatile solid (VS) dan volatile fatty acid (VFA). Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa, laju produksi dan yield bio-H₂ optimal pada HRT yang singkat yaitu 3 hari, dimana secara berturut-turut mencapai 224,8587 mL dan 50,4097 mL/g VS, sedangkan konsentrasi VFA tertinggi mencapai 47.000 mg/ L pada HRT 7 hari, dimana asam asetat merupakan konstituen dominan. Hal ini dapat menyebabkan inhibisi yang dapat menurunkan produksi gas.

Kata kunci: bio-H₂, sampah buah melon, *hydraulic retention time* (HRT).

PENDAHULUAN

Hidrogen diharapkan menjadi sumber energi di masa depan, karena bersifat non-polutif, fleksibel dalam penggunaan sebagai bahan bakar dan *renewable*. Hidrogen memiliki kandungan energi sebesar 142,35 kJ per gram, yang merupakan 2,75 kali lebih besar dari bahan bakar hidrokarbon (Logan, 2004). Fermentasi gelap adalah salah satu proses biologi yang *feasible* karena dapat berlangsung lebih cepat dan memiliki beberapa keuntungan lain yaitu: laju produksi H₂ yang tinggi, teknis yang sederhana, tidak membutuhkan cahaya dan dapat memanfaatkan berbagai macam substrat (Kim dkk., 2009), biaya operasi yang rendah (sel dapat hidup dalam jangka waktu yang lama), laju produksi yang konstan, penggunaan energi yang tidak intensif (dapat berlangsung pada suhu dan tekanan ambien) (Das dan Veziroglu, 2001) serta menghasilkan produk samping yang bernilai guna seperti asam butirat, asam laktat dan asam asetat. Menurut Ghimire dkk. (2015), biomassa organik seperti sampah pertanian, misalnya sampah buah-buahan pasar adalah salah satu sumber substrat yang menjanjikan untuk fermentasi gelap. Hal ini dikarenakan sampah buah-buahan pasar memenuhi beberapa kriteria

utama dalam pemilihan substrat seperti: tersedia dalam jumlah banyak, dapat diperoleh dengan biaya murah, kandungan karbohidrat yang memadai dan mudah terdegradasi (Kapdan dan Kargi, 2005). Buah melon (*Cucumis melo L.*) adalah salah satu komoditas buah global terbaik dengan tingkat produksi per tahun cenderung meningkat dan memiliki kandungan fraksi organik yang memadai yaitu 8,26% lignin (basis kering), 22,71% hemiselulosa, 17,22 % pati terlarut, 30,42% gula total, 6,91% lemak, 0,89% total N, 7,67% *total solid* (basis basah) (Setpyaningtyas, 2013), 91,66% *volatile solid*, 77,59% karbohidrat, 10,47% protein dan rasio C/ N 32 (Nurrihadini, 2009). Pada fermentasi gelap, *yield* dan laju konversi substrat menjadi biohidrogen oleh bakteri tergantung pada jenis reaktor dan parameter operasi reaktor, seperti *hydraulic retention time* (Arimi dkk., 2015).

Reaktor alir pipa memiliki potensi yang signifikan untuk digunakan dalam fermentasi gelap, karena secara konstruksi reaktor alir pipa lebih panjang dari jenis reaktor yang lain sehingga biomassa tidak mudah untuk *wash-out*. Hal ini menyebabkan laju produksi hidrogen (biogas) yang tinggi per kandungan

bahan organik terdegradasi dan per unit reaktor, karena aktivitas *sludge* yang tinggi, utilisasi substrat yang baik serta lebih tahan terhadap *shock loading* (Chen dkk., 2002). Produksi hidrogen mempunyai karakteristik beroperasi pada *hydraulic retention time* (HRT) singkat.

HRT yang singkat lebih dipilih dengan pertimbangan keuntungan ekonomi, dimana parameter-parameter seperti kadar dan *yield* H_2 dipengaruhi oleh HRT (Fan, 2006). Operasi pada HRT terlalu singkat dapat menyebabkan biomassa *wash-out*, sementara operasi pada HRT yang terlalu lama dapat menurunkan produksi hidrogen karena tingkat akumulasi asam lemak volatil yang tinggi. Pada penelitian ini, dilakukan evaluasi pengaruh *hydraulic retention time* (HRT) terhadap laju produksi dan *yield* bio- H_2 dari sampah buah melon secara kontinyu menggunakan reaktor alir pipa, termasuk juga produksi asam-asam organik sebagai hasil samping (*by-product*) dalam fermentasi gelap.

METODOLOGI

Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: sampah buah melon (*bad stock*), isolat kultur mikroba campuran dari *digester* biogas substrat sampah buah, tahu dan kotoran sapi, akuades, HCl 37% p.a (Merck), NaOH p.a (Merck), pepton (Merck), *Yeast Extract* (Merck), glukosa (Merck), KH_2PO_4 (Merck), Na_2HPO_4 p.a (Merck), $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ p.a (Merck), $NaHCO_3$ p.a (Merck), *resazurin* (Sigma Aldrich), *L-Cystein-HCl* (Merck), KH_2PO_4 (Merck), Na_2HPO_4 p.a (Merck), $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ p.a (Merck), $NaHCO_3$ p.a (Merck), gas N_2 untuk *flushing* dan alkohol 96% untuk sterilisasi.

Alat

Peralatan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah reaktor jenis alir pipa. Alat-alat lain yang digunakan, antara lain: *Gas Chromatography* (GC) SHIMADZU GC 14 B Japan dengan kolom SUS *Packed Column* Porapak Q, 5 m x 4 mm I.D., *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS) Hewlett Packard 5890 II dengan kolom CP-FFA 25 m x 0,32 mm x 0,3 μm , pH meter Lutron PH-208, *syringe*, tabung *eppendorf*, *centrifuge* Beckman model J-6B, botol *vial* 100 mL, *laminar air flow* (LAF), *venoject*, mikropipet 1000 μL dan *tip*, inkubator, *autoclave*, *furnace*, desikator, oven serta alat-alat gelas dan

peralatan tambahan lainnya yang lazim digunakan dalam laboratorium.

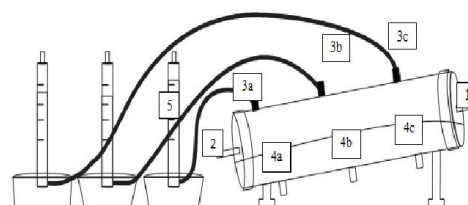
Prosedur Penelitian

Pra-Perlakuan dan Pengkayaan Inokulum

Proses pra-perlakuan berfungsi untuk menonaktifkan bakteri metanogenik yang bersifat mengkonsumsi H_2 untuk membentuk gas CH_4 . Proses deaktivasi bakteri metanogenik dilakukan dengan perlakuan pengasaman (*acid treatment*) melalui penambahan HCl 37% 2 M ke dalam inokulum segar sampai pH 3 selama 24 jam. Adapun proses pengkayaan 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*.

Tahap Produksi Bio- H_2

Reaktor yang digunakan dalam penelitian berbentuk silinder dengan panjang 1 m dan diameter 19 cm dengan volum efektif 14 L, dibuat dengan kaca akrilik dan dilengkapi pengukur gas (*high gasometer*). Reaktor diatur pada posisi horizontal dengan sudut kemiringan 5-10 ° dan pada suhu mesofilik (25-40 °C). Reaktor mula-mula dialiri (*flush*) dengan nitrogen selama 10 menit untuk mendapatkan kondisi anaerobik dan menurunkan tekanan parsial (Hussy dkk., 2003).



Keterangan :

1. Inlet
2. Outlet
3. Tempat Sampling Gas
4. Tempat Sampling Cairan
5. Pengukur gas (Gas meter)

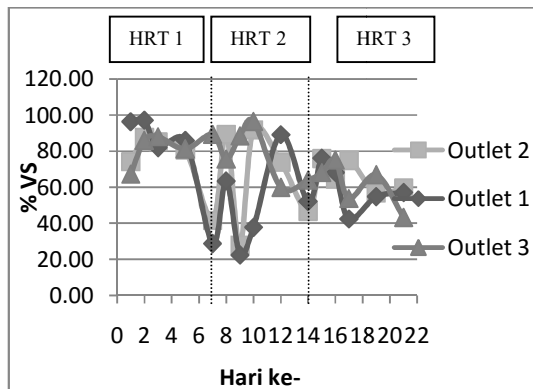
Gambar 1. Rangkaian alat penelitian

Reaktor kemudian diisi dengan campuran substrat, inokulum dan medium nutrisi (*seeding*) dengan perbandingan 30%, 10% dan 60% dari total volum kerja reaktor. Tahap *start-up* dijalankan $\pm$ 2 hari sampai mencapai kondisi *steady-state* yaitu ketika pembentukan biogas stabil dan terdapat penurunan nilai kandungan

volatile solids (efisiensi degradasi substrat $\pm 5\%$). Setelah tahap *start-up* selesai, proses pengumpulan substrat selanjutnya dilakukan dengan variasi HRT 7 hari, 5 hari dan 3 hari secara bertahap dalam waktu 21 hari. Sampel gas dan cairan diambil dari reaktor untuk dilakukan analisis kadar H_2 , *volatile solid* (VS) dan *volatile fatty acid* (VFA).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh HRT Terhadap Kadar *Volatile Solid* (VS)



Gambar 2. Hubungan *volatile solid* (VS) dan waktu

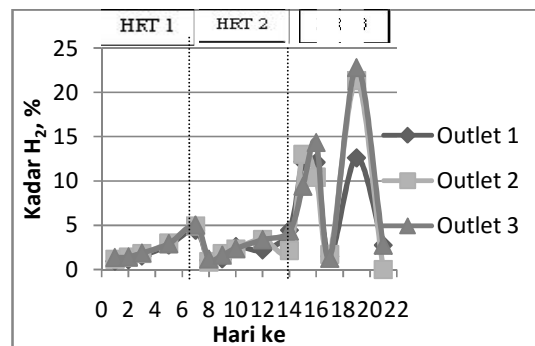
Kadar *volatile solid* merupakan bagian padatan (*total solid*) bahan organik yang menguap menjadi fase gas pada tahapan asidifikasi. Bahan organik ini menguap dan mengalami proses gasifikasi. Pada gambar 2, dapat dilihat bahwa kadar VS seiring waktu relatif fluktuatif. Kadar VS yang fluktuatif diakibatkan karena sistem belum stabil, dalam arti pertumbuhan mikroorganisme masih terjadi sehingga memungkinkan terjadi perbedaan perubahan kadar VS terhadap waktu disetiap hari pada HRT yang sama.

Perubahan kadar VS terhadap waktu dipengaruhi tingkat beban organik yang diberikan ke sistem. Pada gambar 2, dapat dilihat bahwa pada awal waktu (hari ke-1) pada berbagai variasi HRT, kadar VS selalu lebih rendah karena mikroorganisme mengalami *recovery* sebelum beradaptasi pada kondisi baru hingga mencapai kondisi stabil (Olafadehan dan Alabi, 2009). Pada hari selanjutnya, kadar VS menjadi naik karena sisa mikroorganisme yang mati terukur sebagai kadar VS. Kadar VS yang optimal tercapai pada hari ke-10, dengan HRT 5 hari yaitu 98,31% (*effluent*). Pada HRT yang panjang yaitu 7 hari (HRT 1), waktu tinggal

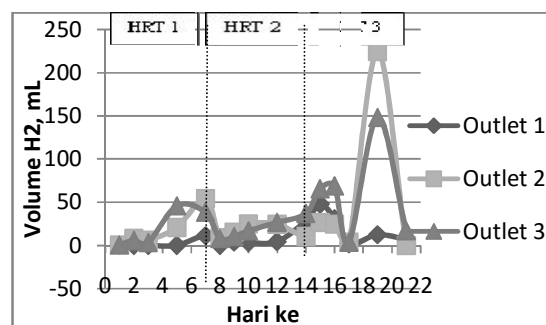
substrat akan panjang sehingga penurunan kadar VS akan signifikan, dimana penurunan kadar VS mencapai 59,66%. Secara teori, semakin banyak VS yang terurai maka semakin banyak gas yang diproduksi. Tetapi, tidak terdapat korelasi antara peningkatan gas dengan kadar VS yang terurai karena tidak semua senyawa organik yang terurai pada fase asidogenesis terurai menjadi biogas tetapi sebagian menjadi komponen dari *effluent* (Legget dkk, 2005).

Kadar VS yang fluktuatif terjadi karena *wash-out*, kadar VS akan naik karena aktivitas mikroorganisme yang baru tumbuh dan beradaptasi dengan sistem. Hasil pengukuran VS menunjukkan penurunan kadar VS selama masa fermentasi, karena adanya konsumsi VS untuk pertumbuhan mikroorganisme dan menghasilkan produk. produk.

Pengaruh HRT Terhadap Kadar dan Volume H_2



Gambar 3. Hubungan kadar H_2 dan waktu



Gambar 4. Hubungan volume H_2 dan waktu

Pada dasarnya kadar dan volume H_2 berkaitan dengan efisiensi aktivitas mikroorganisme dalam mengurai substrat menjadi H_2 , dibandingkan dengan produksi asam organik atau untuk pemeliharaan sel. Pada

gambar 3 dan 4, dapat dilihat bahwa kadar dan volume H_2 setiap waktu pada berbagai variasi HRT cenderung fluktuatif.

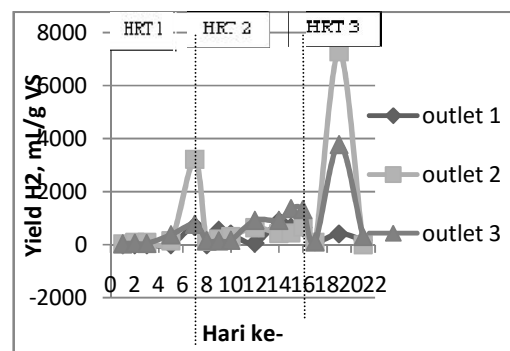
Pada hari ke-1, kadar H_2 relatif rendah karena pada awal waktu mikroorganisme berada pada fase *lag*/ fase penyesuaian dengan kondisi lingkungan, sedangkan pada hari selanjutnya kadar H_2 meningkat seiring dengan terjadinya fase pertumbuhan eksponensial dimana pada fase ini terjadi produksi H_2 . Pada waktu tertentu, kadar H_2 akan kembali rendah karena mikroorganisme memasuki fase stasioner dimana metabolisme berubah dari produksi hidrogen/ asam menjadi produksi pelarut (solventogenesis) (Han dan Shin, 2004), karena aliran elektron yang dibutuhkan dalam sintesis H_2 dialihkan ke pembentukan aseton, butanol dan etanol. Hal ini bertujuan untuk mencegah kerusakan sel akibat disosiasi asam organik di dalam sel (Lutke-Eversloh dan Bahl, 2012). Produksi asam organik dapat menyebabkan kematian sel karena terjadi inhibisi oleh asam organik yang terlalu banyak.

Pada gambar 3 dan 4, dapat dilihat bahwa kadar dan volume H_2 tertinggi diperoleh pada HRT yang singkat yaitu 3 hari (HRT 3). Hal ini terjadi karena substrat yang dapat diurai oleh mikroorganisme relatif banyak, dan mikroorganisme pada rentang waktu tersebut sudah mengalami pertumbuhan dan adaptasi yang baik selama rentang waktu sebelumnya, sehingga sistem tetap stabil karena mikroorganisme masih mampu mengolah substrat dengan baik walaupun terjadi peningkatan konsentrasi substrat.

Kadar H_2 tertinggi terdapat pada *outlet* 3 dan HRT 3 hari yaitu 22,81%, hal ini disebabkan karena semakin panjang reaktor (*plug flow*) akan semakin maksimal proses peruraian yang terjadi, dibandingkan dengan pada *outlet* 1 dan 2 dimana kadar H_2 relatif rendah karena proses peruraian belum maksimal. Adapun volume H_2 tertinggi terdapat pada *outlet* 2 dan HRT 3 hari yaitu 224,8587 mL, karena seperti halnya pada produksi biogas, aktivitas mikroorganisme sudah stabil sehingga proses metabolisme terjadi maksimal, dibandingkan dengan pada *outlet* 1 substrat yang terkonversi menjadi H_2 masih sedikit karena substrat yang terurai belum optimal karena mikroorganisme masih beradaptasi dengan kondisi sistem, sedangkan pada *outlet* 3, volume H_2 menurun diakibatkan karena substrat yang menjadi sumber makanan sudah habis dan Kondisi lingkungan tidak mendukung untuk

terjadinya pertumbuhan mikroorganisme.

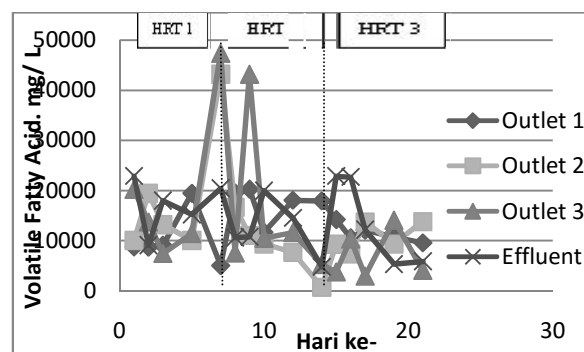
Pengaruh HRT Terhadap Yield H_2



Gambar 5. Hubungan *yield* H_2 dan waktu

Hal serupa juga terjadi berkaitan dengan *yield* H_2 , dimana pada gambar 5 dapat dilihat bahwa *yield* H_2 tertinggi diperoleh pada *outlet* 2 dan HRT yang singkat yaitu 3 hari (HRT 3) sebesar 50,4097 mL/ g VS. *Yield* H_2 menunjukkan banyaknya gas H_2 yang dapat dihasilkan per satuan berat *volatile solid* (VS), atau indikator efisiensi dan efektivitas substrat dikonversi menjadi gas H_2 . *Yield* H_2 sangat dipengaruhi oleh lintasan fermentasi yang digunakan dan produk akhir. *Yield* H_2 rendah dikarenakan pembentukan asam organik/ terbentuk asam organik yang dibentuk dengan konsumsi H_2 seperti valerat dan kaproat.

Pengaruh HRT Terhadap Volatile Fatty Acid (VFA)



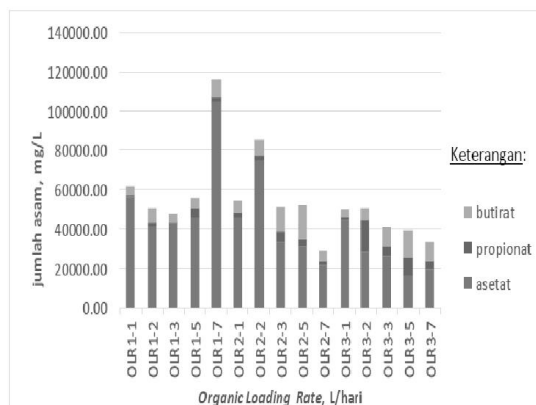
Gambar 6. Hubungan *volatile fatty acid* (VFA) dan waktu

Konsentrasi asam organik yang tinggi telah dilaporkan menghasilkan penurunan gradien pH dan menyebabkan penghambatan total dari fungsi keseluruhan metabolik sel.

Konsentrasi total antara asam asetat atau butirir dan bentuk tidak terpisahkan dari asam-asam ini dapat menghambat proses fermentasi gelap hidrogen. Asam lemak utama yang terdapat pada produksi hidrogen secara fermentasi meliputi asam asetat, asam propionat dan asam butirir (Lay, 2001).

Pada gambar 6, dapat dilihat bahwa *volatile fatty acid* (VFA) fluktuatif seiring waktu pada berbagai variasi HRT. Konsentrasi VFA sangat berpengaruh terhadap kinerja peruraian anaerobik. VFA yang teridentifikasi pada konsentrasi tinggi menunjukkan kegagalan pada sistem (Kiyua, 2011). Pada penelitian ini, konsentrasi VFA tertinggi mencapai 47.379,66 mg/ L pada HRT 7 hari (HRT 1).

Hal ini dapat menyebabkan inhibisi, karena konsentrasi VFA > 2.000 mg/ L). Inhibisi VFA menurunkan kinerja pada hidrolisis dan peruraian anaerobik dan menyebabkan kematian pada mikroorganisme sehingga produksi biogas berkurang. Pada HRT yang singkat yaitu 3 hari (HRT 3), konsentrasi VFA relatif rendah. Hal ini terjadi karena semakin singkat waktu tinggal substrat akan semakin sedikit VS yang terurai dan terkonversi menjadi VFA.



Gambar 7. Distribusi asam-asam organik per variasi HRT

Pada gambar 7, dapat dilihat bahwa asam asetat adalah produk fermentasi yang dominan dibandingkan dengan butirir dan propionat. Berdasarkan produk fermentasi, terdapat 3 jenis fermentasi yaitu: tipe propionat, tipe butirir dan tipe etanol. Produk yang utama pada fermentasi tipe propionat adalah asam propionat dan asam asetat dengan tidak dihasilkan hidrogen. Untuk tujuan produksi hidrogen, fermentasi tipe propionat harus dihindari.

Fermentasi tipe butirir menghasilkan pembentukan H_2 , CO_2 , asam butirir dan asam asetat sebagai produk utama (Cohen dkk., 1984). Fermentasi tipe etanol menghasilkan produk utama berupa H_2 , CO_2 , etanol dan asam asetat (Ren dkk., 1997). Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa tipe fermentasi yang terjadi adalah tipe butirir, karena produk fermentasi berupa asam butirir, asam asetat dan sedikit propionat. Untuk memperoleh H_2 yang optimal, komposisi asam organik sebagai produk fermentasi harus seimbang.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa, laju produksi dan *yield* bio- H_2 optimal pada HRT yang singkat yaitu 3 hari, dimana secara berturut-turut mencapai 224,8587 mL dan 50,4097 mL/ g VS, sedangkan konsentrasi VFA tertinggi mencapai 47.379,66 mg/ L pada HRT 7 hari, dimana asam asetat merupakan konstituen yang dominan. Hal ini dapat menyebabkan inhibisi yang dapat menurunkan produksi gas. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa, produksi bio H_2 dari sampah buah melon secara kontinyu menggunakan reaktor alir pipa akan optimal pada HRT yang singkat.

DAFTAR PUSTAKA

- Arimi, M. M., Knodel, J., Kiprop, A., Namango, S. S., Zhang, Y., and Geißen, Sven-Uwe, 2015, *Strategies for Improvement of Biohydrogen Production from Organic-Rich Wastewater: A Review*, Biomass and Bioenergy, 75, pp. 101-118
- 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.
- Cohen, A., Van Gemert, J. M., Zoetemeijer, R. J., and Breure, A. M., 1984, *Main Characteristics and Stoichiometrics Aspects of Acidogenesis of Soluble Carbohydrate Containing Wastewaters*, Proc. Biochem., 19, pp. 228-32.
- Das, D., and Veziroglu, T. N., 2001, *Hydrogen Production by Biological Processes: A Survey of Literature*, Int. J. Hydrogen Energy, 26, pp. 13-28.
- Fan, K. S., 2006, *Effect of Hydraulic Retention Time on Anaerobic Hydrogenesis in*

- CSTR, *Bioresource Technology*, pp. 97, 84-9.
- Ghimire, A., Frunzo, L., Pirozzi, F., Trably, E., Escudie, R., Lens, Piet N. L., and Esposito, G., 2015, *A Review on Dark Fermentative Biohydrogen Production from Organic Biomass: Process Parameters and Use of By-Products*, *Applied Energy*, 144, pp. 73-95.
- Han, S. K., and Shin, H. S., 2004, *Biohydrogen Production by Anaerobic Fermentation of Food Waste*, *Int. J. Hydrogen Energy*, 29, pp. 569-577.
- 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), pp. 619-26.
- Kapdan, I. K., and Kargi, F., 2005, *Biohydrogen Production from Waste Materials, Enzyme and Microbial Technology*, 38, pp. 569-582.
- Lay, J. J., 2001, *Biohydrogen Generation by Mesophilic Anaerobic Fermentation of Microcrystalline Cellulose*, *Biotechnol. Bioeng.*, 74 (4), pp. 280-287.
- Logan, B. E., 2004, *Extracting Hydrogen and Electricity from Renewable Resources*, *Environmental Sci. Tech.*, 38 (9), pp. 160-7.
- Lutke-Eversloh, T., and Bahl, H., 2011, *Metabolic Engineering of Clostridium Acetobutylicum: a Recent Advances to Improve Butanol Production*, *Curr. Op. Biotech*, 22, pp. 1-14.
- Kim, D. H., Kim, S. H., and Shin, H. S., 2009, *Sodium Inhibition of Fermentative Hydrogen Production*, *Int. J. Hydrogen Energy*, 34, pp. 3295-304.
- Nurrihadini, O. D., 2009, *Karakterisasi Sampah Pasar Buah Gemah Ripah Yogyakarta sebagai Bahan Baku Produksi Biogas*, Skripsi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
- Olafadehan, O. A., and Alabi, A.T., 2009, *Modelling and Simulation of Methanogenic Phase of an Anaerobic Digester*, *Journal of Engineering Research*, 14 (1), pp. 32-49.
- Ren, N. Q., Wang, B. Z., and Huang, J. C., 1997, *Ethanol-type Fermentation from Carbohydrate in High Rate Acidogenic Reactor*, *Biotechno. Bioeng.*, 54 (5), pp. 428-33.
- Septyaningtyas, Q. S., 2013, *Keberadaan Penghambatan Fermentasi Biogas Pada Buah Alpukat, Mangga dan Melon Busuk*, Skripsi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.