

## Pengaruh Variasi *Organic Loading Rate* Limbah Buah Jeruk Terhadap Konversi Biohidrogen pada Reaktor Kontinyu Sirkulasi

Nazarruddin Sinaga<sup>1\*</sup> dan Muhammad Farizan Praevia<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

<sup>2</sup>Magister Energi, Sekolah Pascasarjana, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Soedarto, SH. Tembalang, Semarang, 50275 Indonesia

Email: nsinaga19.undip@gmail.com ; farizanpraevia@students.undip.ac.id

### Abstrak

Salah satu energi alternatif terbarukan saat ini yang sedang dikembangkan untuk mengganti bahan bakar fosil adalah biohidrogen. Biohidrogen dapat diperoleh dari hasil fermentasi limbah biomassa berupa limbah jeruk. Jeruk mengandung senyawa yang dapat diolah untuk menghasilkan hidrogen melalui fermentasi anearob. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi *Organic Loading Rate* limbah buah jeruk yang diumpungkan setiap harinya ke dalam biodigester terhadap produksi gas hidrogen yang dihasilkan. Gas hidrogen merupakan suatu senyawa yang memiliki potensi yang cukup menjanjikan sebagai salah satu sumber energi untuk di masa depan. Energi dari hasil kalor pembakaran hidrogen ini mencapai 120,1 MJ/Kg, dimana angka ini bahkan hampir tiga kali lipat lebih besar dari energi yang dihasilkan pembakaran *gasoline*. Variasi *Organic Loading Rate* yang digunakan pada penelitian ini adalah 2,25 L/hari dan 2,75 L/hari. Hasil penelitian menunjukkan adanya pengaruh *organic loading rate* terhadap produksi biohidrogen. Semakin besar OLR maka semakin besar gas hidrogen yang terbentuk. Hasil gas hidrogen yang diperoleh yaitu sebesar 11,728 %. Konversi limbah biomassa menjadi gas hidrogen dinilai mendukung konsep *Waste to Energy* pemerintah dan menjadi salah satu solusi energi alternatif di Indonesia. Gas hidrogen selanjutnya dapat dikonversi menjadi panas dan listrik.

**Kata kunci:** Biohidrogen, Jeruk, Biodigester, *Organic Loading Rate*, *Waste to Energy*

### Abstract

#### ***Effect of Organic Loading Rate Variation in Orange Fruit Waste Biohydrogen Conversion Using Continuous Circulation Reactor***

One of kinds of renewable alternative energy source that can be developed to substitute fossil fuels is biohydrogen. Biohydrogen is obtained from the fermentation of biomass, orange waste. Oranges contain compounds that can be treated to produce hydrogen through anaerob fermentation. This research aims to determine the effect of organic rate's variation of oranges that inputted per day to the biodigester. Organic loading rate that been used in this research were 2,25 L/day and 2,75 L/day. The results show that the influence of organic loading rate to biohydrogen production. The results reveal that the higher the OLR is, the more hydrogen is produced. The production of hydrogen on OLR 2.75 L is higher than OLR 2.25 L. The hydrogen production's concentration is 11.728 %. The conversion of biomass waste into hydrogen gas is considered to support Indonesia governments about *Waste to Energy* concept and become one of the alternative energy solutions in Indonesia. Hydrogen gas can then be converted into heat and electricity.

**Keywords:** Biohydrogen, Orange, Biodigester, *Organic Loading Rate*, *Waste to Energy*

## PENDAHULUAN

Peningkatan kebutuhan hidup manusia menyebabkan kebutuhan akan energi menjadi masalah besar yang dihadapi oleh negara di dunia, termasuk Indonesia. Tidak ditemukannya cadangan dalam jumlah yang besar, menjadikan permasalahan energi menjadi topik utama. Sementara kenyataannya manusia tetap memerlukan energi dalam menjalankan aktivitasnya. Aktivitas manusia ini menyebabkan konsumsi energi selalu meningkat dari tahun ke tahun. Berdasarkan Outlook Energi Indonesia 2020 yang dikeluarkan oleh Dewan Energi Nasional, konsumsi energi final di Indonesia mengalami peningkatan sebesar 5,5% per tahun dalam sepuluh tahun terakhir (2010-2020). Dimana sebagian besar sumber energi tersebut merupakan energi fosil. Peningkatan konsumsi energi ini tidak sesuai dengan ketersediaan energi yang terdapat di bumi. Permasalahan energi dalam memenuhi kebutuhan manusia perlu ditangani secara serius. Sumber energi terbarukan merupakan sumber energi alternatif yang dapat menggantikan posisi sumber energi saat ini, yang masih didominasi oleh minyak dan gas bumi. Salah satu upaya dalam mengembangkan sumber energi alternatif yaitu dengan penggunaan biohidrogen. Biohidrogen merupakan sintesis gas hidrogen menjadi bahan bakar dengan pemanfaatan limbah biomassa. Limbah biomassa dengan perlakuan secara termokimia atau biologis dapat menghasilkan gas hidrogen. Limbah biomassa berupa substrat kaya akan karbohidrat dicampur dengan bakteri anaerob yang bertugas mengoksidasi bahan tersebut sehingga melepaskan elektron, yang dalam kondisi gelap diterima oleh proton sehingga dihasilkan molekul gas hidrogen ( $H_2$ ) dan asam organik (Levin *et al.*, 2004; Abubackar *et al.*, 2019).

Hidrogen merupakan suatu senyawa yang memiliki potensi yang cukup menjanjikan sebagai salah satu sumber energi untuk di masa depan. Energi dari hasil kalor pembakaran hidrogen ini mencapai 120,1 MJ/Kg, dimana angka ini bahkan hampir tiga kali lipat lebih besar dari energi yang dihasilkan pembakaran gasoline (Widjaja, 2010).

Hidrogen diperoleh melalui proses fermentasi anaerob pada limbah biomassa. Dengan menggunakan bantuan mikroorganisme, diperoleh senyawa hidrogen yang diinginkan. Proses

produksi hidrogen ini tidak membutuhkan energi yang besar karena fermentasi yang digunakan dalam kondisi gelap. Hidrogen yang diproduksi dari limbah biomassa ini disebut biohidrogen. Biohidrogen berpotensi sebagai bahan bakar alternatif karena memiliki kandungan energi yang tinggi dan produk pembakarannya yang ramah lingkungan (Purnomohadi, 2015).

Pembuatan gas hidrogen dari limbah biomassa hingga saat ini sulit untuk diproduksi dalam skala besar. Kendala tersebut terjadi karena terdapat kesulitan dalam mengontrol kondisi operasi fermentasi dan serta aktivitas bakteri yang digunakan. Jenis reaktor yang digunakan sejauh ini berupa reaktor *batch*, dimana proses produksi gas hidrogen hanya dapat dilakukan pada skala laboratorium. Hasil gas yang diperoleh juga relatif sedikit. Sebuah terobosan baru dalam produksi biohidrogen dari limbah biomassa adalah dengan menggunakan reaktor kontinyu (Wang *et al.*, 2013). Limbah biomassa disirkulasi di dalam biodigester untuk memaksimalkan produk gas hidrogen. Dengan menggunakan sistem kontinyu, diharapkan produksi biohidrogen dapat dimaksimalkan dalam skala besar.

Berdasarkan Survei Sosial Ekonomi Nasional (SUSENAS), dimana data konsumsi yang tercatat merupakan konsumsi jeruk untuk kebutuhan rumah tangga, pola perkembangan konsumsi jeruk pada periode 1995-2014 fluktuatif namun cenderung meningkat dengan rata-rata pertumbuhan 11,65% per tahun (Suwardi, 2015). Besarnya tingkat konsumsi buah jeruk menyebabkan limbah organik yang dihasilkan juga semakin besar. Dari mulai limbah dari perkebunan jeruk hingga limbah ditingkat konsumen. Limbah organik yang dihasilkan buah jeruk (*Citrus sp.*) dapat dimanfaatkan menjadi bahan baku pembuatan biohidrogen. Karena jeruk merupakan salah satu buah-buahan yang mengandung senyawa karbohidrat, hidrokarbon, dan ester yang dapat diolah untuk dihasilkan biohidrogen. Penggunaan limbah buah jeruk sebagai sumber bahan baku biohidrogen dapat menjadi salah satu solusi energi alternatif di Indonesia. Berdasarkan data dari Kementerian Kesehatan RI (2018), dalam 100 gram sari buah jeruk mengandung kalori sebesar 44 kal; karbohidrat sebesar 11 gram; protein sebesar 0,8 gram; lemak sebesar 0,2 gram; vitamin A, B1, C 239,1 gram; dan mineral lainnya.

Karbohidrat, lemak, dan protein yang terkandung dalam limbah buah jeruk dapat dimanfaatkan sebagai sumber gas hidrogen selanjutnya dapat dikonversi menjadi panas dan listrik. Penelitian yang dilakukan (Nurhayati, 2017) dengan menggunakan bahan yang sama dengan variasi *Organic Loading Rate* (ORL) 2,2 ; 2,5 ; 3,1 L/hari menghasilkan gas hidrogen tertinggi di 3,76%. Penelitian yang dilakukan (Bonanza dan Sarto, 2016) dengan variasi berupa *total solid* (%) menghasilkan 11,7% gas hidrogen pada ORL 2.75 L/hari. Kedua hasil penelitian menunjukkan adanya produksi biohidrogen dengan menggunakan limbah buah jeruk. Hal tersebut yang mendorong penelitian biohidrogen ini.

## METODOLOGI

Penelitian bertujuan untuk menunjukkan bahwa gas hidrogen akan menjadi salah satu energi alternatif di masa depan menggantikan bahan bakar fosil (De Gruyter, 2015). Biohidrogen merupakan proses produksi gas hidrogen dengan memanfaatkan limbah biomassa dengan fermentasi anaerob. Selama proses fermentasi anaerob, tidak ada udara dan cahaya yang menghambat aktivitas bakteri pembentuk gas (Manish dan Banerjee, 2008).

Reaktor tempat terjadinya proses fermentasi biomassa disebut biodigester. Biodigester dirancang khusus dengan rapat dan kedap udara untuk memaksimalkan proses fermentasi. Proses fermentasi pada pembuatan biohidrogen dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain: temperatur, derajat keasaman (pH), nutrisi, dan *Hydraulic Retention Time* (HRT).

Temperatur sangat mempengaruhi proses fermentasi anaerob yang dilakukan. Setiap golongan mikroorganisme mempunyai suhu optimum untuk pertumbuhannya, sehingga suhu fermentasi harus diatur secara tepat. Mikroorganisme dibagi menjadi beberapa macam, yaitu: psikrofilik (0-20°C), mesofilik (20-42°C) dan termofilik (42-75°C). Reaktor fermentasi anaerob normalnya beroperasi pada kisaran suhu mesofilik dan termofilik (Xiao *et al.*, 2013). Penelitian ini menggunakan ambien temperature sebesar 25 °C menyesuaikan dengan jenis bakteri mesofilik yang digunakan dan lebih mudah untuk dikontrol.

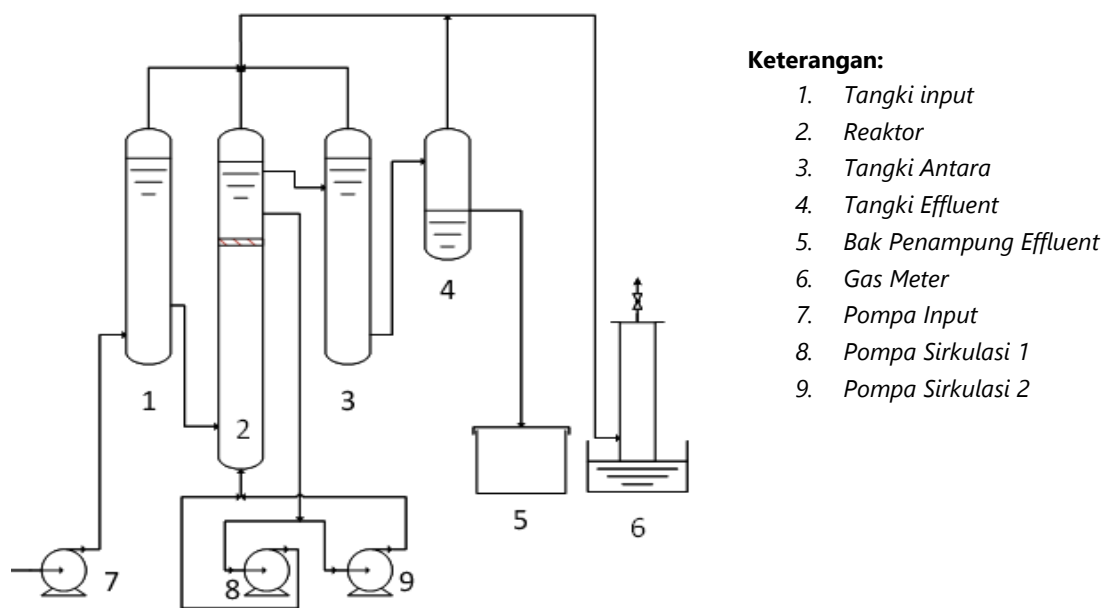
Fermentasi secara anaerob sangat bergantung kepada pH, karena masing-masing jenis bakteri yang terlibat dalam reaksi mempunyai rentang pH tertentu untuk dapat tumbuh. Nilai pH optimal untuk mikroba yang memproduksi metana adalah 6,8 - 7,2 (Purnomohadi, 2015). Pada proses asidogenesis akan dihasilkan asam yang akan mengubah pH sistem menjadi lebih rendah. Peningkatan jumlah asam yang sangat besar tidak diinginkan karena akan menghambat pertumbuhan bakteri metanogen penghasil metana.

Semua organisme membutuhkan suatu bahan untuk pertumbuhannya, makro nutrisi dan kekurangan nutrisi ini akan memberikan dampak negatif pada pertumbuhannya (Lettinga, 1995). Nutrisi yang dimaksud adalah nitrogen dan fosfor, selain itu masih ada sulfur, kalium, magnesium dan lainnya. Selain itu perlu juga dilihat kandungan inhibitor dalam substrat sehingga dapat mengontrol pertumbuhan mikroba.

*Hydraulic Retention Time* (HRT) adalah periode waktu rata-rata bagi setiap input substrat untuk tinggal di dalam reaktor fermentasi dan diolah oleh mikroorganisme. Dibutuhkan waktu tinggal optimum agar produk biohidrogen yang dihasilkan maksimum. Waktu tinggal substrat di dalam reaktor dapat diatur dengan jumlah substrat (*Organic Loading Rate*) yang dimasukkan ke sistem (Bonanza dan Sarto, 2016).

Penelitian ini bertujuan untuk mengamati pengaruh variable *Organic Loading Rate* (ORL, L/hari) terhadap gas hydrogen yang dihasilkan. Dicari hubungan antara kedua variable tersebut hingga diperoleh waktu tinggal optimal bahan organik didalam reaktor. Penelitian dilakukan di Laboratorium Teknik Pangan dan Bioproses, Departemen Teknik Kimia, Universitas Gadjah Mada dengan rangkaian alat utama penelitian ditunjukkan oleh Gambar 1. Bahan yang digunakan dalam penelitian antara lain : Sampah buah jeruk yang diperoleh dari Pasar buah Gemah Ripah, Gamping, Yogyakarta, Inokulum berupa campuran yang diperoleh dari : *Sludge* dari limbah buah diperoleh dari instalasi biogas Pasar Buah Gemah Ripah

Gamping, *Sludge* berupa ampas tahu pengrajin tahu diperoleh dari Industri Tahu Bantul, *Sludge* kotoran sapi, Medium PYG (glucose, peptone, yeast extract, resazurin dan L-Cysteine



**Gambar 1.** Rangkaian Alat Utama Penelitian

HCl), Gas Nitrogen, Garam NaCl 95%, NaOH pellet, HCl 37%.

Langkah penelitian dilakukan sebagai berikut: (1) Persiapan dan Uji Kebocoran Alat Uji kebocoran biodigester dilakukan dengan mengisi setengah biodigester dengan air lalu seluruh lubang *output* ditutup. Digester yang terisi air dibiarkan selama 24 jam dengan tujuan memastikan tidak ada kebocoran air pada sambungan atau bagian lain. Jika tidak ada air yang menetes, maka digester dinyatakan lolos uji kebocoran. Uji kebocoran dilanjutkan dengan uji kebocoran gas, mengingat fase dari produk adalah gas. Seluruh lubang seperti lubang keluaran 1, 2, 3, serta *effluent* ditutup. Dari saluran *input* dialirkan udara, sementara bagian sambungan digester diolesi dengan busa sabun. Jika pada bagian tersebut terbentuk gelembung atau buih, maka digester masih dinyatakan bocor, sehingga pada bagian yang bocor harus dilem. Termasuk juga saat di lubang yang sudah ditutup ditemukan buih, maka alat harus dilem kembali. (2) *Pretreatment* Inokulum: *Pretreatment* bertujuan untuk menonaktifkan aktivitas bakteri metanogen dengan perlakuan pH. Sludge dari *effluent* digester biogas, sampah tahu, dan kotoran sapi masing-masing diambil sebanyak 100 mL, kemudian dimasukkan ke dalam Erlenmeyer. Sludge ditetesi HCl 2 M hingga mencapai pH 3. Selanjutnya sludge dibiarkan selama 24 jam dalam

Erlenmeyer tertutup. Setelah 24 jam, Sludge ditetesi NaOH hingga mencapai pH 7 (Nurhayati, 2017). (3) Tahap *Enrichment*: Tujuan dilakukannya tahap *Enrichment* adalah untuk memperbanyak jumlah bakteri penghasil biohidrogen. Bahan bahan yang digunakan untuk membuat medium enrichment terdiri dari: aquadest, pepton, L-cystein HCl, resazurin, yeast extract, glukosa, dan larutan NaOH. Prosedur pembuatan medium enrichment dilakukan sama seperti pada penelitian produksi biohidrogen dengan reaktor batch yang dilakukan oleh Purnomohadi, 2015. Inokulum campuran yang telah di enrichment disiapkan sebanyak 350 ml untuk masuk ke dalam biodigester. (5) Persiapan Limbah Buah Jeruk sebagai *Input* Biodigester : *Input* berupa limbah buah jeruk yang digunakan merupakan limbah buah jeruk yang diperoleh dari Pasar Buah Gamping, Sleman. Buah jeruk yang diperoleh dikupas dengan tujuan diambil bagian buahnya, lalu dipisahkan antara padatan dan cairannya dengan menggunakan juicer. Padatan atau ampas buah jeruk yang masih terkandung cairannya diperas dengan kain belacu untuk mendapatkan *slurry* buah jeruk yang lebih banyak. Jumlah cairan limbah jeruk yang dipersiapkan dengan *juicer* disesuaikan dengan kebutuhan variasi loading rate 2,25 liter/hari dan 2,75 liter/hari. (5) Persiapan Medium Produksi : Medium Produksi digunakan berupa PYG (*pepton-yeast-glucose*) yang mengandung 10 g/L pepton, 10 g/L yeast

extract, 0,001 g/L resazurin., 0,5 g/L Lsisteine- HCl., 10 g/L glukosa (Purnomohadi, 2015). Medium produksi disiapkan sebanyak 20 L untuk masuk ke dalam biodigester sebagai campuran pada loading rate pertama. Medium produksi kemudian dicampur dengan substrat jeruk sebanyak 15 L dan ditambahkan HCl atau NaOH hingga pH menjadi 7 (Nurhayati, 2017). (6) Pelaksanaan Proses Produksi Biohidrogen: Langkah diawali dengan *flushing* menggunakan gas nitrogen. Ini dilakukan sebelum inokulum dan limbah jeruk dimasukkan ke dalam biodigester. Hal ini bertujuan untuk mengeluarkan gas oksigen yang terjebak dalam selang dan digantikan dengan gas nitrogen. (7) Pengambilan Sampel Gas Hidrogen: Gas diambil melalui *Silicone rubber* plug dengan *syringe* sebanyak 5 ml, kemudian gas disimpan dalam *venoject* dan dianalisis kandungan hidrogennya dengan menggunakan *Gas Chromatography* (GC).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi *Organic Loading Rate* (OLR) sampah buah jeruk terhadap produksi gas hidrogen pada biodigester (Martín *et al.*, 2010). Dimana pada penelitian ini digunakan variasi OLR sebesar 2,25 L/hari dan 2,75 L/hari. Sampel gas yang diperoleh dari reaktor dianalisis kandungan hidrogennya dengan menggunakan *Gas Chromatography* (GC). Hasil gas hidrogen yang diperoleh ditunjukkan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Data Analisis Hidrogen dengan *Gas Chromatography* (GC)

ORL (L/hari)	Hari Ke-	Kadar Gas H <sub>2</sub> , %
2,75 L	1	5,155
	2	6,163
	3	8,485
	4	2,465
	5	11,174
	6	11,728
2,25 L	1	11,613
	2	6,720
	3	7,500
	4	9,963
	5	11,039

Berdasarkan Gambar 2 dapat dilihat bahwa gas hidrogen yang dihasilkan cenderung mengalami kenaikan. Memasuki hari ke-5 untuk kedua variasi gas hidrogen yang dihasilkan cenderung *steady* (konstan). Gambar 2 menunjukkan bahwa semakin besar variasi OLR, maka kadar gas hidrogen yang dihasilkan semakin besar. Penelitian ini menunjukkan bahwa kadar gas hidrogen yang dihasilkan ORL 2,75 L lebih tinggi dibanding 2,25 L. Semakin banyak OLR maka semakin banyak substrat yang dapat terdegradasi oleh mikroorganisme menjadi gas hidrogen. Hal tersebut didukung oleh penelitian yang dilakukan Bonanza dan Sarto (2016), bahwa pada OLR 2.75 L diperoleh hydrogen 11.7% disbanding dengan OLR 2.5 L hanya 4,5%. Pada hari ke-4 produksi gas pada OLR 2,25 L justru lebih tinggi dibanding 2,75 L. Hal ini disebabkan karena pada hari ke-4 OLR 2,75 L terdapat *error* dari produksi gas yang dihasilkan reaktor. Pada hari tersebut volume gas yang dihasilkan pada reaktor lebih sedikit karena tidak banyak mikroorganisme yang mendegradasi substrat menjadi gas hidrogen. Kadar hidrogen tertinggi yang dihasilkan adalah 11,728% pada variasi OLR 2,75 L di hari ke-6. Perlu diamati dengan lanjut titik optimum OLR yang di *input* ke dalam reaktor.

## KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan diperoleh, dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi nilai *Organic Loading Rate* (ORL) maka semakin tinggi kadar gas hidrogen yang dihasilkan. Kadar gas hidrogen yang diperoleh pada *Organic Loading Rate* 2,75 L/hari lebih tinggi daripada *Organic Loading Rate* 2,25 L/hari dengan produksi gas hidrogen tertinggi sebesar 11,728%. Konversi limbah biomassa menjadi gas hidrogen dinilai mendukung konsep *Waste to Energy* pemerintah dan dapat menjadi salah satu solusi energi alternatif di Indonesia. Gas hidrogen selanjutnya dapat dijadikan bahan bakar dikonversi menjadi energi panas dan listrik. Oleh sebab itu diperlukan penelitian lebih lanjut terkait produksi biohidrogen, termasuk analisis mikroorganisme didalam proses konversi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abubackar, H.N., Keskin, T., Yazgin, O., Gunay, B., Arslan, K. & Azbar, N. 2019. Biohydrogen production from autoclaved fruit and vegetable wastes by dry fermentation under thermophilic condition. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44(34):18776-18784.
- Bonanza, B.S.W. & Sarto, S. 2016. Pengaruh Variasi Organic Loading Rate Sampah Buah Jeruk terhadap Produksi Biohidrogen pada Reaktor Kontinu. *Jurnal Rekayasa Proses*, 10(2):43-47.
- De Gruyter, 2015. Biohydrogen. *Green Processing and Synthesis Hydrogen Energy*, 4:506-507
- Levin, D.B., Pitt, L. & Love, M., 2004. Biohydrogen production: prospects and limitations to practical application. *International journal of hydrogen energy*, 29(2):173-185.
- Manish, S. & Banerjee, R. 2008. Comparison of biohydrogen production processes. *International Journal of Hydrogen Energy*, 33(1):279-286.
- Martín, M.A., Siles, J.A., Chica A.F., Martín, A. 2010. Biomethanization of Orange Peel Waste, *Bioresource technology*, 101:8993-8999
- Nurhayati, A. 2017. Pengaruh Variasi Loading Rate Sampah Buah Jeruk Terhadap Produksi Biohidrogen Pada Reaktor Kontinyu Dengan Parameter Volatile Fatty Acid, Teknik Kimia, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Purnomohadi, A. 2015. Pengaruh Penambahan Hidrogen Peroksida terhadap Produksi Biohidrogen oleh clostridium bifermentans BLK YK-1999, Teknik Kimia, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta,
- Suwardi. 2015. Outlook Komoditas Pertanian Subsektor Hortikultura Jeruk, Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian - Kementerian Pertanian, Jakarta,
- Wang, C.C., Chang, C.W., Chu, C.P., Lee, D.J., Chang, B.V. & Liao, C.S., 2003. Producing hydrogen from wastewater sludge by Clostridium bifermentans. *Journal of biotechnology*, 102(1): pp.83-92.
- Wang, X., Ding, J., Ren, N.Q., Liu, B.F. and Guo, W.Q., 2009. CFD simulation of an expanded granular sludge bed (EGSB) reactor for biohydrogen production. *International journal of hydrogen energy*, 34(24):9686-9695.
- Widjaja, A. 2010. Pengaruh Konsentrasi Substrat pada Proses Produksi Hidrogen Secara Fermentasi Anaerobik Menggunakan enterobacter aerogenes, Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Xiao, Y., Zhang, X., Zhu, M. & Tan, W. 2013. Effect of the culture media optimization, pH and temperature on the biohydrogen production and the hydrogenase activities by Klebsiella pneumoniae ECU-15. *Bioresource technology*, 137:9-17.