PENGARUH SUHU TERHADAP PROSES PRODUKSI BIOHIDROGEN DARI HASIL FERMENTASI *PALM OIL MILL EFFLUENT* (POME)

Effect of Temperature on Biohydrogen Production from Palm Oil Mill Effluent (POME) Fermentation

Novio Valentino¹⁾, Zulaicha Dwi Hastuti¹⁾, dan Agung Wibowo²⁾

¹⁾Pusat Teknologi Sumberdaya Energi dan Industri Kimia
Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT)
Gedung 625 Kawasan PUSPIPTK Serpong - Tangerang Selatan 15314

²⁾Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah, Jakarta
Email: zulaicha.dh@bppt.go.id

Diterima: 18 Oktober 2017; Diperiksa: 9 Nopember 2017; Revisi: 22 Nopember 2017; Disetujui: 5 Desember 2017

Abstract

Hydrogen could be used as fuel for internal combustion engines or as fuel cell application that produces almost no greenhouse gas emissions when burned with oxygen. Hydrogen could be combined with compressed natural gas (CNG) to improve their performance and reduce air pollution. Hydrogen is produced from carbohydrate-rich materials from industrial waste by dark fermentation process. POME containing high organic materials s around 25.000 – 70.000 mg/L is a good substrate for biohydrogen production through anaerobic digestion involving microbes. The temperature effect of anaerobic dgestion was studied in this study. The preculture test is carried out at 37°C and 55°C. Sludge and POME were obtained from palm oil mill factory in Bogor. Sludge is treated by heating of 90-95°C for 90 minutes. The experimental results show that the temperature of 55°C generates a higher biogas compared to 37°C, 95 ml and 53 ml respectively. The highest gas production rate is found at 24 hours incubation period and biogas rate slow down when incubation time is 48 hours.

Keywords: POME, hydrogen, dark fermentation, preculture

Abstrak

Hidrogen dapat digunakan sebagai bahan bakar untuk pembakaran langsung pada mesin atau sebagai bahan bakar *fuel cell* yang menghasilkan hampir tidak ada emisi gas rumah kaca ketika dibakar dengan oksigen. Hidrogen dapat ditambahkan ke *Compressed Natural Gas* (CNG) untuk meningkatkan kinerja dan mengurangi polusi. Hidrogen diproduksi dari bahan yang kaya karbohidrat dari limbah industri dengan proses fermentasi gelap. POME dengan kandungan bahan organik cukup tinggi sekitar 25.000 – 70.000 mg/L dapat diolah menjadi gas biohidrogen melalui proses fermentasi gelap dengan melibatkan mikroba. Pengaruh suhu proses fermentasi dipelajari dalam penelitian ini. Uji *preculture* dilakukan pada kondisi suhu 37°C dan 55°C. Sludge dan POME diperoleh dari pabrik kelapa sawit di Bogor. Sludge dilakukan treatment dengan memanaskan pada suhu 90-95°C, selama 90 menit. Hasil percobaan menunjukkan bahwa suhu 55°C menghasilkan gas yang lebih tinggi dibandingkan dengan suhu 37°C, masing-masing sebesar 95 ml dan 53 ml. Kecepatan produksi gas tertinggi terdapat pada waktu inkubasi 24 jam yang kemudian mengalami perlambatan produksi gas ketika waktu inkubasi 48 jam.

Kata kunci: POME, hidrogen, fermentasi gelap, *preculture*

1. PENDAHULUAN

Hidrogen merupakan salah satu sumber energi alternatif potensial untuk masa depan yang dapat diperbaharui dan ramah lingkungan. Hidrogen mempunyai kandungan energi yang tinggi yaitu 2,75 kali lebih besar dibandingkan bahan bakar fosil. Hidrogen dapat digunakan sebagai bahan bakar untuk pembakaran langsung pada mesin atau sebagai bahan bakar *fuel cell* yang menghasilkan hampir tidak ada emisi gas rumah kaca ketika dibakar dengan oksigen. Hidrogen dapat

ditambahkan ke *Compressed Natural Gas* (CNG) untuk meningkatkan kinerja dan mengurangi polusi. Penambahan Hidrogen 20 % ke CNG dapat mengurangi emisi Nitrogen oksida (NO_x) sebesar 50%. Penggunaan terbesar hidrogen adalah digunakan pada industri pupuk dan industri minyak bumi dengan konsumsi masing-masing 50% dan 37%.

Terdapat berbagai proses teknologi untuk memproduksi hidrogen, diantaranya proses kimia, biologi, elektrolisis, *photolytic*, dan termokimia.

Proses biologi untuk memproduksi hidrogen metode fermentasi anaerob dengan fermentasi gelap secara teknis lebih mudah dilaksanakan, dan ramah lingkungan (Aminah dkk, 2016). Selain itu, proses fermentasi anaerob tidak membutuhkan energi yang besar dalam prosesnya sehingga tidak membutuhkan biaya besar. Fermentasi gelap dapat memanfaatkan bahan yang kaya karbohidrat dari limbah industri seperti *Palm Oil Mill Effluent* (POME) untuk memproduksi hidrogen. POME berpotensi tinggi untuk menghasilkan hidrogen karena mengandung karbohidrat tinggi berupa gula sederhana, pati, dan selulosa.

POME atau limbah cair kelapa sawit dihasilkan dari proses ekstraksi minyak, pencucian, dan pembersihan di pabrik kelapa sawit. Setiap ton tandan buah segar kelapa sawit yang diproses akan menghasilkan 0,7 - 1 m³ POME. POME yang baru dihasilkan biasanya bersuhu 60 - 80°C, bersifat asam (pH 3,3 - 4,6). Bentuk POME berupa cairan kental berwarna kecoklatan dengan kandungan padatan, minyak dan lemak. Kandungan organik POME terdiri dari *Chemical Oxygen Demand* (COD) sebesar 53,630 mg/L, *Biological Oxygen demand* (BOD) sebesar 25,000 mg/L, dan Minyak dan Lemak sebesar 8370 mg/L (Sri Rahayu dkk, 2015). Tingginya kandungan organik pada POME menunjukkan bahwa POME merupakan sumber yang cocok untuk substrat pertumbuhan bakteri pada proses biologi.

Suhu merupakan salah satu faktor penting yang mempengaruhi produksi hidrogen, distribusi metabolit, degradasi substrat, dan pertumbuhan bakteri. Produksi hidrogen dapat beroperasi pada suhu ambien (15 - 27°C), mesofilik (30 - 45°C), dan termofilik moderat (50-60°C), dan bahkan dibeberapa penelitian menunjukkan dapat beroperasi di bawah kondisi termofilik ekstrim (lebih dari 60°C) (Bharatiraja dkk, 2016).

Media yang akan digunakan pada penelitian ini dilakukan variasi terhadap suhu inkubasi. Variasi dilakukan pada kondisi suhu 37°C dan 55°C. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh suhu terhadap proses produksi hidrogen dari hasil fermentasi limbah *Palm Oil Mill Effluent* (POME).

2. BAHAN DAN METODE

2.1. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah POME dan sludge yang diperoleh dari Pabrik Kelapa Sawit (PKS) Cikasungka, Bogor. Bahan lainnya adalah larutan NaOH 5 M, larutan HCl 5 M dan glukosa.

2.2. Karakterisasi POME

Karakterisasi POME terdiri dari pengukuran kadar COD (*Chemical Oxygen Demand*) dan pengukuran pH. Pengukuran COD mengacu pada standar prosedur SNI 2009. Pengukuran pH dilakukan dengan menggunakan pH-meter yang telah terkalibrasi. Sampel cairan langsung diukur dengan pH meter tanpa dilakukan pengenceran terlebih dahulu.

2.3. Pretreatment Sludge

Produksi gas hidrogen dengan bahan baku POME dari Pabrik Kelapa Sawit (PKS) Cikasungka dilakukan menggunakan mikroba kultur campuran yang diperoleh dari lumpur aktif kolam anaerobik PKS Cikasungka. Fermentasi dimulai dengan pengaturan pH POME sebesar 5,5 dengan penambahan HCl 5 M dan NaOH 5 M. Media steril POME pH 5,5 dilakukan menggunakan autoclave pada suhu 121°C selama 15 menit.

Pertreatment lumpur aktif kolam anaerobik menggunakan metode *Heat Shock* dengan cara memanaskan lumpur aktif pada suhu 90-95°C, selama 90 menit (Zulaicha dkk., 2014). Kemudian dijadikan seed tahap starter bihidrogen dengan cara ditanam dalam variasi media pada volume kerja 50 mL masing-masing pada suhu 37°C dan 55°C.

2.4. Starter

Media starter dibuat dengan pembuatan seed menggunakan sludge yang sudah ditreatment panas, lalu ditanam pada media starter 1 (10 % seed + 1% glukosa + POME) dengan volume kerja 50 mL. Media starter 1 kemudian diinkubasi pada suhu 37°C dan 55°C dan waktu 24 jam, 48 jam dan 72 jam. Kemudian starter 1 digunakan sebagai seed untuk produksi biogas dari substrat POME. Gas yang dihasilkan diukur menggunakan respirometer setiap 24 jam.

2.5. Analisis

Respirometer digunakan sebagai pengukur volume biogas. Respirometer berupa dua buah gelas ukur 1.000 L dan 250 mL yang berisi larutan NaCl jenuh. larutan NaCl jenuh digunakan karena larutan ini memiliki kelarutan yang rendah sehingga gas hasil fermentasi akan susah larut dalam larutan ini pada saat pengukuran berlangsung. Komposisi gas hidrogen dianalisis menggunakan Gas Chromatography Shimadzu GC-2014 dengan detektor TCD (*Thermal Conductivity Detector* kolom porapak q, suhu injektor dan detektor masing-masing 100°C dan 100°C dengan lama pengukuran 20 menit, serta gas pembawa yang digunakan adalah Argon dengan laju alir 25 mL/menit.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Karakteristik POME

Karakterisasi POME dilakukan sebelum POME dilakukan fermentasi. Tabel 1 menunjukkan informasi tentang parameter yang diujikan dan hasil karakteristik POME. Karakterisasi yang dilakukan berupa karakterisasi warna, pH dan COD.

Tabel 1. Hasil Karakteristik POME

Parameter Uji	Hasil
pH	5,06
COD	26,680 mg/L
Warna	Cokelat berupa suspensi

Berdasarkan hasil karakterisasi diketahui bahwa POME memiliki karakteristik pH sebesar

5,06 dan kandungan konsentrasi *Chemical Oxygen Demand* (COD) sebesar 26.680 mg/L yang menunjukkan bahwa POME dapat mencemari lingkungan jika dibuang langsung ke alam bebas tanpa pengolahan terlebih dahulu. Hasil karakterisasi warna diperoleh bahwa POME memiliki warna coklat yang berupa suspensi. COD merupakan jumlah oksigen yang diperlukan untuk mengurai seluruh bahan organik yang terkandung dalam sampel cair secara kimia. Nilai COD menunjukkan jumlah oksigen yang diperlukan agar bahan organik yang terdapat pada limbah cair dapat teroksidasi secara kimia baik yang dapat didegradasi oleh mikroorganisme maupun yang sukar terdegradasi.

3.2. Pretreatment mikroba

Mikroba kultur campuran dari lumpur aktif kolam anaerobik PKS Cikasungka yang telah melalui tahap *heat-shock pretreatment* dilakukan preculture untuk memperkaya jumlah bakteri penghasil gas dan mendapatkan bakteri yang lebih prima sehingga diharapkan dapat meningkatkan produksi gas. *Treatment* dengan panas ini dilakukan dengan harapan untuk menghilangkan bakteri metanogen (Gilroyed dkk, 2008). Grafik di bawah ini menunjukkan hasil produksi gas dari substrat POME menggunakan *sludge* POME yang sudah dilakukan *pretreatment*.

Gambar 1. Grafik waktu inkubasi lumpur anaerobik PKS Cikasungka pada suhu 37°C dan 55°C.

Dari Gambar 1 menunjukkan grafik pengaruh waktu inkubasi *sludge* terhadap kumulatif produksi biogas pada suhu 37°C dan 55°C. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa kecepatan produksi biogas meningkat secara signifikan pada 1 – 2 hari fermentasi. Setelah 2 hari fermentasi, produksi gas menurun. Hal ini diprediksi karena laju produksi biogas dalam kondisi batch secara langsung sesuai dengan laju pertumbuhan spesifik bakteri metanogen di biodigester (Nopharatana dkk, 2007). Pada sekitar hari pertama pengamatan, produksi biogas sangat rendah atau memang biogas belum terbentuk karena fase lag pertumbuhan mikroba. Pada fase lag mikroba, kemungkinan mikroba sudah kehabisan beberapa nutrisi dasar. Selain itu, kemungkinan sel-sel sudah rusak karena panas, radiasi atau racun, sehingga memerlukan waktu untuk memperbaikinya.

Dalam rentang pengamatan 1 sampai 2 hari, produksi biogas meningkat secara drastis akibat

pertumbuhan mikroorganisme secara eksponensial. Selama fase eksponensial, masing-masing sel membelah menjadi dua sel, dimana masing-masing sel yang terbelah akan membelah lagi menjadi dua atau lebih sel. Fase eksponensial biasanya berada pada kondisi paling stabil. Beberapa mikroorganisme tumbuh pada fase eksponensial ini dengan kecepatan yang berbeda-beda. Kecepatan pertumbuhan fase eksponensial ini dipengaruhi oleh kondisi lingkungan seperti suhu, komposisi media.

Setelah 3 hari pengamatan, produksi biogas cenderung menurun dan ini diperkirakan karena fase stasioner pertumbuhan mikroba atau bahkan fase kematian. Pada fase stasioner, pertumbuhan mikroba sangat lambat, tidak ada peningkatan jumlah sel. Beberapa sel mengalami pertumbuhan, sebagian yang lain mengalami kematian. Proses ini berjalan secara seimbang, namun lama kelamaan mengalami kematian. Beberapa kasus kematian diikuti juga dengan kerusakan sel. Pada umumnya, kecepatan kematian sel lebih rendah dibandingkan dengan pertumbuhan secara eksponensial. (Madigan dkk, 2006)

Setelah 3 hari pengamatan masih ada kecenderungan untuk meningkatkan produksi biogas dan belum berhenti. Hal ini diprediksi bahwa karbon yang terkandung tidak terdegradasi atau diubah semua menjadi biogas melalui proses anaerobic (Budiyono dkk, 2010). POME mengandung banyak selulosa dan lignoselulosa yang memerlukan waktu yang lama untuk terdegradasi (Chong dkk, 2009). Selain itu juga bakteri anaerob menurunkan lignin dan beberapa hidrokarbon lainnya yang sangat lambat. Dengan kata lain, kandungan lignin yang lebih tinggi akan menurunkan biodegradabilitas limbah (Budiyono dkk, 2010).

Kecepatan produksi gas tertinggi terdapat pada waktu inkubasi 24 jam yang kemudian mengalami perlambatan produksi gas ketika waktu inkubasi 48 jam. Pada waktu inkubasi 48 jam, kecepatan produksi biogas menurun seiring dengan penurunan performa mikroba, dimana fase mikroba berada pada stasioner. Mulai hari ketiga fermentasi, produksi gas mendekati nol. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi optimal pertumbuhan bakteri terjadi pada waktu inkubasi media *preculture* mikroba dengan waktu inkubasi 24 jam.

3.3. Pengaruh Suhu

Gambar 1 juga menunjukkan pengaruh suhu terhadap produksi biogas. Dari gambar tersebut terlihat bahwa pada suhu termofilik 55°C menghasilkan biogas yang lebih tinggi dibandingkan dengan produksi biogas pada suhu mesofilik 37°C. Pada hari ke 2 fermentasi, produksi gas sebesar 95 ml dan 53 ml pada suhu 55°C dan 37°C. Suhu merupakan salah satu faktor yang berpengaruh terhadap pertumbuhan dan keberlangsungan mikroba. Kondisi yang sangat dingin atau sangat panas menyebabkan mikroba tidak dapat tumbuh. Pada umumnya mikroba memiliki kisaran suhu dimana pada kisaran suhu tersebut mikroba dapat bertahan hidup.

Mamimin dkk, (2015), juga melaporkan bahwa

kondisi termofilik menghasilkan biogas yang lebih tinggi dibandingkan dengan mesofilik pada substrat POME. Suhu termofilik dianggap lebih unggul dibandingkan dengan suhu mesofilik, dimana mikroorganisme mampu memanfaatkan berbagai macam limbah organik untuk didegradasi. Laju produksi biohidrogen yang dihasilkan lebih tinggi pada kondisi termofilik dibandingkan dengan kondisi mesofilik (O-Thong, 2011), menghilangkan bakteri metanogen. Hal ini sesuai dengan yang dilakukan oleh Akutsu dkk, (2009), dimana hidrogen yang dihasilkan lebih stabil, baik dari segi volume yang dihasilkan maupun komposisi gas. Sedangkan menurut Zábranská, (2000), bahwa aktivitas *sludge* termofilik menurun sedikit akibat perubahan suhu, namun setelah kondisi steady, aktifitasnya lebih tinggi dibandingkan dengan aktifitas pada mesofilik. Hal ini juga berkaitan erat dengan jenis mikroba yang berperan dalam menghasilkan biohidrogen. Pada kondisi termofilik, bakteri penghasil biohidrogen lebih mudah dipanen, terutama *Thermo-anaerobacterium* (Shin, H.K., Youn, J.H., 2005). Kecepatan pertumbuhan mikroba termofilik 2 – 3 kali lebih tinggi dibandingkan dengan mikroba mesofilik (Zábranská dkk, 2000). Tahap proses asidogenik (menghasilkan asetat) konsorsium mikroba penghasil biohidrogen seperti Clostridia merupakan bakteri termofilik dan tahan panas. Kecepatan asidogenik lebih tinggi dibandingkan dengan kecepatan konsumsi asetat pada metanogenik, sehingga terjadi ketidakseimbangan kinetika antara tahap asidogenik dengan metanogenik. Dengan demikian produksi biohidrogen lebih besar (Vazquez dkk, 2005).

Suhu menyebabkan dua efek berlawanan, yakni meningkatkan metabolisme mikroba tetapi juga meningkatkan permeabilitas membran (Infantes, dkk) yang kemudian meningkatkan energi yang dibutuhkan untuk tujuan perawatan. Efek dari kedua aspek tersebut adalah hambatan yang lebih tinggi, karena energi yang dibutuhkan untuk perawatan meningkat lebih dari pada metabolisme mikroba (O-Thong dkk, 2010, Zábranská dkk, 2000). Keuntungan lebih lanjut dari proses thermophilic adalah efek higienization yang lebih tinggi, mis. tingkat pelepasan patogen. Proses termofilik dapat menyebabkan peningkatan sifat pengeringan air limbah dari lumpur yang dicerna.

4. KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat ditarik kesimpulan bahwa hidrogen dapat diproduksi dengan proses fermentasi gelap dengan mikroba kultur campuran dari kolam anaerob dan menggunakan POME sebagai substrat pertumbuhan bakteri.

Fermentasi yang dilakukan pada suhu termofilik (55°C) menghasilkan produksi gas yang lebih tinggi dibandingkan suhu mesofilik (37°C).

DAFTAR PUSTAKA

Akutsu, Y., Li, Y.Y., Harada, H., Yu, H.Q., Effects of temperature and substrate concentration on biological hydrogen production from starch, international journal of hydrogen energy 34 (2009) 2558 – 2566

Aminah Lutpi, Nabilah, , Jamaliah Md Jahim, Tabassum Mumtaz, Shuhaida Harun and Peer Mohamed Abdul. 2016. *Batch and continuous thermophilic hydrogen fermentation of sucrose using anaerobic sludge from palm oil mill effluent via immobilisation technique*. Process Biochemistry, 51 : 297-307.

Bharatiraja, B., . Sudharsanaa, T., Bharghavi, A., Jayamuthunagai, J., Praveenkumar, R. 2016. *Biohydrogen and Biogas an Overview on Feedstocks and Enhancement*. Fuel, 185 : 810-828.

Budiyono, Widiyasa, I.N., SJohari, S., Sunarso, The kinetic of Biogas Production Rate from Cattle Manure in Batch Mode, World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Chemical and Molecular Engineering Vol:4, No:1, 2010

Chong, M.L., Rahim, R.A., Shirai, Y., Hassan, M.A., Biohydrogen production by clostridium butyricum EB6 from palm oil mill effluent, international journal of hydrogen energy 34 (2009) 764 – 771

Chong, M.L., Rahim, R.A., Shirai, Y., Hassan, M.A., Biohydrogen production by clostridium butyricum EB6 from palm oil mill effluent, international journal of hydrogen energy 34 (2009) 764 – 771

Gilroyed, B.H., Chang, C., Chu, A., Hao, X., Effect of Temperature on Anaerobic Fermentative Hydrogegas Production from Feedlot Cattle Manure Using Mixed Microflora. International Journal of Hydrogen Energy 33 (2008) 4301–4308

Infantes, D., Campo, A.G., Villasenor, J., Fernandez, F.J., Influence of pH, temperature and volatile fatty acids on hydrogen production by acidogenic fermentation, international journal of hydrogen energy 36 (2011) 15595 -15601

Madigan, M.T., Martinko, J.M., Brock Biology of Microorganisms, Pearson Prentice Hall IE, eleventh edition, 2006

Mamimin, C., Chaikitkaew, S., Niyasom, C., Kongjan, P., O-Thong, S., Effect of Operating Parameters on Process Stability of Continuous Biohydrogen Production from Palm Oil Mill Effluent under Thermophilic Condition, Energy Procedia 79 (2015) 815 – 821

Nopharatana, A., Pullammanappallil, P.C., Clarke, W.P., Jinetic and Dynamic Modelling of Batch Anaerobic Digestion of Municipal Solid Waste in Stirred Reactor, Waste Management 27 (2007) 595 – 603

O-Thong, S., Mamimin, C. & Prasertsan, P. 2011. Effect of temperature and initial pH on biohydrogen production from palm oil mill effluent: Long-term evaluation and microbial community analysis. *Electronic Journal of Biotechnology*, 14(5), pp.60–70.

Shin HS, Youn JH. Conversion of food waste into hydrogen by thermophilic acidogenesis. *Biodegradation* 2005;16:33–44.

Sri Rahayu, Ade dkk. 2015. *Konversi POME Menjadi Biogas Pengembangan Proyek di Indonesia*. Winrock International.

Vazquez, I.A., Leal, E.R., Garcia, F.E, Cecchi, F., Valardo, H.M.P., Semi-continuous solid substrate anaerobic reactors for H₂ production from organic waste : Mesophilic versus thermophile regime, International Journal of Hydrogen Energy 30 (2005) 1383–1391

Zábranská, J., Štěpová, J., Wachtl, R., Jeníček, P., Dohányos, M., THE ACTIVITY OF ANAEROBIC BIOMASS IN THERMOPHILIC AND MESOPHILIC DIGESTERS AT DIFFERENT LOADING RATES, *Water Sci. Technol.* 42 (2000) 9, 49-56

Zulaicha, D.H., Mahyudin, A.R & Prasetyo, J. 2014. *Rekomendasi Teknologi Sel Bahan Bakar (Fuel Cell) untuk Kelistrikan dan Transportasi*. [Laporan Tahunan]. Tangerang: PTSE-Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi.