



## Optimasi Produksi Biohidrogen dari *Palm Oil Mill Effluent* dengan Metode *Suppressing* Mikroba Metanogenik pada Inokulum Kotoran Sapi

Edwin Permana<sup>1\*</sup>, Firdaus Juanda<sup>2</sup>, Joni Prasetyo<sup>3</sup>, S.D. Sumbogo Murti<sup>4</sup> dan Lince Muis<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Jambi

<sup>2</sup>Pusat Teknologi Sumberdaya Energi dan Industri Kimia, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi

\*E-mail: [edwinpermana86@yahoo.com](mailto:edwinpermana86@yahoo.com)

### Abstract

Research in the field of bioenergy technology is currently being developed. One of bioenergy types that became the focus of development in Indonesia is biohydrogen. In producing biohydrogen from palm oil mill effluent (POME) using inoculum from cow dung, the production of biomethane gas causes biohydrogen productivity being decreased. The method used to increase the productivity of biohydrogen in this study is by suppressing methanogenic microbial treatment method which is conducted by heating cow dung inoculum at 95 °C for 120 min. Producing biohydrogen was done by fermented both POME and cow dung inoculum in vial bottle 120 mL at room temperature. Fermentation condition was adjusted at pH 5.5 by phosphoric buffer 1 M. The results obtained in this study consist with the increasing value of biohydrogen productivity, maximum of cumulative biohydrogen production rate and yield were 75.61 % and 0.43 mL H<sub>2</sub>/hr and 104.82 mL H<sub>2</sub>/g COD, respectively. This method was also perfectly suppressed biomethane gas production with percentage decreasing value is 100 %. The aim of this study is to investigate the effectiveness of suppressing method in optimizing biohydrogen production.

**Keywords:** Biohydrogen, Biomethane, Optimization, POME, Suppressing

### Pendahuluan

Kebutuhan akan energi yang semakin meningkat merupakan salah satu tantangan besar yang harus segera diselesaikan. Menurut Dewan Energi Nasional (DEN) (2016), konsumsi energi final pada tahun 2015 dengan skenario BaU (*Business as Usual*) yaitu 128,8 MTOE (*Million Tons Oil Equivalent*) dan diperkirakan akan meningkat 1,8 kali lipat pada tahun 2025 yaitu sekitar 238,8 MTOE jika dilihat dari rata-rata pertumbuhan penduduk pertahunnya yaitu sebesar 6,4%.

Konsumsi energi final tertinggi adalah pada sektor industri, diikuti rumah tangga dan transportasi. Namun, rata-rata kenaikan konsumsi energi tahunan paling tinggi adalah pada sektor transportasi yaitu sebesar 6,46% (Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT), 2016). Peningkatan kebutuhan energi pada sektor transportasi disebabkan oleh meningkatnya jumlah kendaraan di Indonesia yaitu dari 19 juta kendaraan pada tahun 2000 menjadi 121 juta kendaraan pada tahun 2015 dengan rata-rata kenaikan pertahunnya sebesar 7,8% (Badan Pusat Statistik (BPS), 2014).

Kenaikan ini memicu ketidakstabilan kondisi bahan bakar di Indonesia, dimana jumlah konsumsi energi Bahan Bakar Minyak (BBM) pada tahun 2014 sebesar 300 juta barel sedangkan produksinya hanya 288 barel (BPPT, 2016). Kondisi inilah yang menyebabkan Indonesia harus mengimpor minyak agar dapat memenuhi kebutuhan energi nasional. Untuk menangani hal tersebut, salah satu solusi yang dapat dikembangkan adalah dengan mengembangkan teknologi bioenergi.

Menurut Sari dan Hadiyanto (2013), bioenergi merupakan energi yang diperoleh dari biomassa sebagai fraksi produk biodegradasi, limbah, dan residu baik yang bersumber dari nabati maupun hewani. Bioenergi yang diproduksi dalam wujud gas dari hasil aktivitas makhluk hidup disebut biogas. Salah satu jenis biogas yang sangat berpotensi sebagai bahan bakar alternatif yang perlu untuk dikembangkan yaitu hidrogen.

Hidrogen (H<sub>2</sub>) merupakan salah satu sumber energi yang sangat men-janjikan, ramah lingkungan, dan terbarukan. Hidrogen dapat menggantikan pemakaian bahan bakar fosil karena memiliki hasil energi yang lebih tinggi 2,75 kali lebih besar dibandingkan bahan bakar hidrokarbon. Dimana untuk satuan massa hidrogen dapat menghasilkan energi sebesar 122 kJ/g (Bockris, 2002). Di sisi lain, pembakaran hidrogen dengan oksigen pada sistem *fuel cell* yang hanya menghasilkan air (H<sub>2</sub>O) sebagai produk sampingan, tentunya sangat menguntungkan karena dapat mengurangi emisi gas yang memicu pada efek rumah kaca (Christopher dan Dimitrios, 2012). Selain itu, bahan baku untuk memproduksi hidrogen juga sangat mudah diperoleh.





Produksi hidrogen dapat diperoleh dengan beberapa metode antara lain menggunakan proses termokimia, elektrokimia dan biologis (Norfadilah et al., 2016). Dari beberapa metode tersebut, metode dengan proses biologis merupakan metode yang saat ini sangat banyak digunakan, karena secara teknis metode ini lebih mudah dalam tahap pengerjaannya, ramah lingkungan, rendah energi yang diperlukan serta lebih ekonomis. Metode biologis ini lebih dikenal dengan istilah fermentasi. Suatu proses fermentasi dalam memproduksi hidrogen, setidaknya terdiri dari substrat dan agen biologis penghasil hidrogen (Norfadilah et al., 2016). Substrat yang digunakan yaitu substrat yang memiliki konsentrasi COD yang tinggi seperti pada limbah cair industri kelapa sawit.

Berdasarkan data BPS (2015), total luas lahan perkebun di Indonesia pada tahun 2015 yaitu 22,2 juta hektar yang terdiri dari 50,8 % kelapa sawit. Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa kelapa sawit merupakan komoditi terbesar di Indonesia yang tentunya juga akan menghasilkan limbah yang dalam jumlah yang besar (Direktorat Jendral Perkebunan, 2015). Limbah hasil samping pengolahan kelapa sawit ini sangat mencemari lingkungan jika tidak ditangani dengan baik.

Limbah hasil pengolahan kelapa sawit terdiri dari limbah padat dan limbah cair. Limbah padat yaitu tandan kosong kelapa sawit, cangkang dan serat yang sebagian besar telah dimanfaatkan sebagai sumber energi dengan membakarnya secara langsung (Mahajoeno, 2008). Sedangkan limbah cair pabrik kelapa sawit atau dikenal dengan istilah *Palm Oil Mill Effluent* (POME) merupakan limbah terbesar yang dihasilkan dari proses produksi minyak kelapa sawit (Apriani, 2009) yang sampai saat ini belum banyak dimanfaatkan secara optimal. POME memiliki konsentrasi COD dan BOD masing-masing mencapai 96.300 mg/L dan 53.200 mg/L (Singh et al., 2013) sehingga dapat dimanfaatkan sebagai substrat dalam memproduksi biohidrogen.

Sektor peternakan juga merupakan aspek yang sangat berpotensi dalam pengembangan penelitian di bidang produksi bioenergi. Hal ini dikarenakan oleh potensi limbah hewan ternak yang sangat besar dalam memproduksi biogas khususnya biohidrogen. Salah satu jenis hewan ternak yang sangat berpotensi yaitu sapi.

Sapi merupakan salah satu jenis hewan ternak dengan populasi yang besar di Indonesia yaitu lebih dari 1,2 juta ekor pada tahun 2015 (BPS, 2015a). Kotoran sapi yang mengandung mikroba penghasil hidrogen antara lain mikroba *hypertermofilik* yang terdiri dari *Caldoanaerobacter subterraneus*, *Caloramator fervidus* (Yokoyama et al., 2007) dan *Clostridium thermocellum* (Girija et al., 2013) yang mampu hidup hingga suhu 110 °C (Patel et al., 1987). Namun, berdasarkan beberapa penelitian sebelumnya, kotoran sapi juga mengandung mikroba penghasil gas metana (metanogenik) yaitu *Methanospirillum hungatei* (Sundarassu dan Benila, 2017) dan *Methanosarcina ciciliae* yang tidak dapat hidup pada suhu diatas 50 °C (Mladenovska et al., 2003).

Hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Tanikkul dan Pisutpaisal (2014), diperoleh *yield* sebanyak 17,1 mL H<sub>2</sub>/g COD yang menggunakan POME sebagai sebagai substrat tanpa perlakuan optimasi apapun. Penelitian lainnya yang dilakukan oleh Nipon et al. (2014) dengan optimasi menggunakan metode POME terozonasi melaporkan jumlah *yield* biohidrogen yang diproduksi yaitu 70,1 mL H<sub>2</sub>/g COD. Selain itu, penelitian produksi biohidrogen yang dilakukan oleh Fan et al. (2006) yang menggunakan kotoran sapi sebagai inokulum menunjukkan bahwa gas metana masih diproduksi. Gas metana yang terbentuk sebagai hasil samping dalam proses fermentasi ini mengindikasikan bahwa adanya konsumsi hidrogen oleh mikroba metanogenik untuk menghasilkan gas metana, sehingga dapat mengurangi produktivitas hidrogen.

Berdasarkan beberapa penelitian tersebut, maka diperlukan optimasi produksi biohidrogen dari POME yang menggunakan inokulum kotoran sapi. Metode yang dilakukan dalam proses optimasi ini yaitu metode *suppressing* mikroba metanogenik yang dilakukan dengan pemanasan di atas suhu hidup mikroba metanogenik, sehingga hanya mikroba penghasil hidrogen yang bersifat *hyperthermophilic* yang dapat hidup.

Penelitian ini juga bertujuan untuk mengetahui pengaruh persentase inokulum terhadap produksi biohidrogen. Oleh karena itu, digunakan *Up-flow Anaerobic Sludge Reactor* (UASR) karena raktor ini dapat digunakan secara *batch* dan tanpa pengadukan. Tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu dimulai dari preparasi POME, standarisasi produktivitas biogas, pembiakan mikroba, penentuan waktu optimum produksi biogas, *suppressing* mikroba metanogenik serta *scale-up* menggunakan UASR. Konsentrasi biohidrogen yang diperoleh dari penelitian ini dianalisis menggunakan Kromatografi Gas yang dilengkapi dengan *Thermal Conductivity Detector*.

## Metode penelitian

### Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *Palm Oil Mill Effluent* (POME) sebagai substrat penghasil gas hidrogen sedangkan kotoran sapi digunakan sebagai sumber mikroba. Bahan kimia yang digunakan dalam penelitian ini yaitu kalium dihidrogen fosfat (KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>), di-kalium hidrogen fosfat (K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>), natrium hidroksida (NaOH) 0,5 M hidrogen klorida (HCl) 0,5 M, aquades dan indikator universal. Bahan yang digunakan untuk analisa gas hidrogen dengan GC-TCD yaitu gas Argon.

### Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari peralatan gelas, peralatan analisa dan peralatan percobaan. Peralatan gelas yang digunakan antara lain gelas beker 100 mL, labu takar 100 mL, gelas ukur 50 mL dan pipet tetes. Sedangkan peralatan yang digunakan untuk analisa yaitu *gas bag* 1000 mL, *pH meter edutec*,





Lovibond® BD 600, MD 100, dan RD 125, *Gas Chromatography* Shimadzu 8A yang dilengkapi dengan *Thermal Conductivity Detector* (GC-TCD) serta respirometer dan *water bath*. Selanjutnya peralatan percobaan yaitu botol serum 120 mL dan serangkaian *Up-flow Anaerobic Sludge Reactor* (UASR) dengan volume kerja 2,5 mL.

### Metodologi Penelitian

Berdasarkan tahapan pengerjaannya, penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahap antara lain preparasi dan karakterisasi POME, standarisasi produktivitas biogas, pembiakan mikroba inokulum kotoran sapi, penentuan waktu optimum fermentasi, optimasi produktivitas biohidrogen dengan metode *suppressing* dan optimasi produksi biohidrogen menggunakan UASR 2,5 L.

#### Preparasi dan Karakterisasi POME (Singh et al., 2013)

POME yang diperoleh dari PTPN VIII Kertajaya, Banten mula-mula disimpan pada suhu 4 °C sebelum digunakan. Preparasi POME dilakukan dengan mengukur kondisi awal POME dengan beberapa parameter antara lain suhu, pH, COD, BOD.

#### Standarisasi Produktivitas Biogas

Bahan-bahan yang distandarisasi yaitu kotoran sapi segar (KS) dan POME segar (POME). Percobaan ini dilakukan dengan cara memasukkan masing-masing bahan (KS dan POME) ke dalam botol serum 120 mL yang berbeda-beda. Selanjutnya diinkubasi selama 7 hari dan dilakukan pengukuran volume biogas yang terbentuk pada setiap harinya.

#### Pembiakan Mikroba

Metode yang dilakukan dalam pembiakan kotoran sapi ini yaitu merujuk pada penelitian pendahuluan yang telah dilakukan sebelumnya. Kotoran sapi segar diperoleh dari kandang Peternakan Teknologi Agroindustri dan Bioteknologi (TAB), BPPT, Tangerang Selatan. Sebanyak 30 mL kotoran sapi dibiakkan pada media POME sebanyak 70 mL dan ditambahkan larutan buffer Fosfat 1 M hingga pH 5,5. Kemudian diinkubasi pada suhu kamar selama 5 hari. Setelah itu, supernatan beserta cairan dipisahkan dari inokulum yang mengendap di dasar botol.

#### Penentuan Waktu Optimum Produksi Biogas dan Analisis Pengaruh Metanogenesis terhadap Produktivitas Biohidrogen

Percobaan ini dilakukan untuk menentukan kondisi optimum produksi biohidrogen dan pengaruh mikroba metanogenik terhadap produksi bio-hidrogen. Fermentasi dilakukan di dalam botol serum 120 ml pada kondisi anaerob dengan waktu fermentasi selama 7 hari pada suhu ruang yaitu  $25 \pm 2$  °C. Tahapan dalam percobaan ini dimulai dengan memasukkan sebanyak 15 ml inokulum ke dalam botol serum. Kemudian ditambahkan 60 ml POME serta larutan buffer fosfat pH 7 sehingga diperoleh pH fermentasi yaitu 5,5 dan ditutup dengan karet butirat dan segel aluminium. Selanjutnya diukur volume biogas menggunakan respirometer dan dianalisis produksi metana dan biohidrogen menggunakan GC-TCD.

#### Optimasi Produktivitas Biohidrogen dengan Metode Suppressing

Inokulum yang telah diperoleh pada prosedur sebelumnya, dimasukkan ke dalam botol serum. Kemudian inokulum kotoran sapi dipanaskan pada suhu 95 °C selama 120 menit menggunakan *water bath*. Setelah itu inokulum dibiarkan pada tepat terbuka selama 2 jam.

Setelah dilakukan proses *suppressing*, selanjutnya 15 mL inokulum dimasukkan ke dalam botol serum 120 mL, kemudian ditambahkan 60 mL POME dan diatur pH hingga 5,5 menggunakan buffer fosfat dan ditutup dengan karet butirat dan segel aluminium sebelum fermentasi dimulai. Selanjutnya difermentasi selama 7 hari. Diukur volume biogas menggunakan respirometer dan dianalisa volume biohidrogen yang terbentuk menggunakan GC-TCD.

#### Optimasi Produksi Biohidrogen dengan UASR 2,5 L

Proses optimasi pada penelitian ini dilakukan menggunakan *Up-flow Anaerobic Sludge Reactor* (UASR) dengan volume kerja 2,5 L secara *batch* dalam kondisi anaerob fakultatif. Tahapan dalam percobaan ini dimulai dengan memasukkan inokulum kotoran sapi ke dalam reaktor dengan variasi inokulum 5%, 10% dan 15%. Selanjutnya ditambahkan substrat POME ke dalam reaktor hingga volume reaktor mencapai 2,5 L melalui inlet dengan kecepatan aliran substrat 1,8 mL/menit. Kemudian diatur pH 5,5 menggunakan larutan buffer fosfat pH 7. Pada percobaan ini dilakukan selama 3 hari. Volume gas yang terbentuk diukur dengan respirometer dan dianalisis menggunakan GC-TCD.

#### Analisis Data

##### Perhitungan Volume Biogas

Penelitian ini menggunakan analisa data yang mengacu pada persamaan volume tabung untuk menghitung jumlah volume biogas yang diperoleh dari pengukuran menggunakan respirometer. Persamaan yang digunakan yaitu sebagai berikut.





$$h = \frac{V_t - V_0}{100 \text{ ml}} \times 5.25 \text{ cm}$$

$$V = \pi r^2 h$$

### Analisis Komposisi Biogas

Biogas yang diperoleh dari hasil fermentasi pada reaktor dikumpulkan menggunakan gas bag yang berukuran 1 L. Kemudian dianalisis komposisi biogas menggunakan instrumen GC-TCD pada suhu injek, suhu awal dan suhu akhir masing-masing yaitu 100, 50 dan 50 °C dengan gas Argon sebagai gas pembawa.

### Perhitungan Konsentrasi Biohidrogen

Untuk menentukan konsentrasi biohidrogen yang diperoleh dalam penelitian ini, dapat dilakukan dengan membandingkan antara luas area hasil analisa dan dengan luas area dan konsentrasi standar H<sub>2</sub>, secara empiris seperti persamaan berikut ini.

$$\text{Konsentrasi H}_2 = \frac{\text{Luas area H}_2}{\text{Luas area standar H}_2} \times \text{Konsentrasi standar H}_2$$

Standar Baku Analisa Gas Hidrogen yang digunakan mengacu pada *Standardized Gas of Hydrogen BPPT-2016*:  
Luas Area Standar H<sub>2</sub> = 312.325 Satuan Luas  
Konsentrasi Standar H<sub>2</sub> = 4,98 ppm

### Hasil dan Pembahasan

#### Preparasi dan Karakterisasi POME

POME dari hasil industri pengolahan kelapa sawit pada PTPN VIII Kertajaya, Banten diambil dengan cara purposive sampling pada kolam penampungan pertama. Pemilihan kolam penampungan limbah cair pertama dilakukan karena oleh POME pada kolam pertama merupakan POME segar yang belum terdegradasi oleh mikroba-mikroba pada kolam. Parameter yang diukur tepat pada saat pengambilan sampel yaitu suhu. Selanjutnya POME yang diperoleh disimpan pada suhu 4 °C untuk menjaga kestabilan sifat cairan agar tidak terjadi perubahan karakteristik pada POME yang meliputi COD, BOD<sub>5</sub>, pH (Ismail et al., 2010). Sebelum digunakan sebagai substrat dalam produksi biohidrogen, POME dikarakterisasi terlebih dahulu untuk mengetahui karakteristik awal POME.

Tabel 1. Karakterisasi POME awal

Parameter	Nilai	Satuan
COD	18.160	mg/L
BOD <sub>5</sub>	2.930	mg/L
pH	4.36	-
Suhu	72	°C
Warna	Kuning kecokelatan	-

Berdasarkan data pada tabel diatas, POME yang diperoleh memiliki konsentrasi COD dan BOD<sub>5</sub> yang cukup tinggi sehingga dapat digunakan sebagai substrat dalam produksi biohidrogen.

#### Standarisasi Produktivitas Biogas

Dalam penelitian ini dilakukan standarisasi produktivitas biogas terlebih dahulu untuk mengetahui bahan-bahan yang aktif dalam memproduksi biogas. Bahan-bahan yang digunakan dalam proses standarisasi ini yaitu kotoran sapi yang masih segar (KS) dan POME segar (POME).

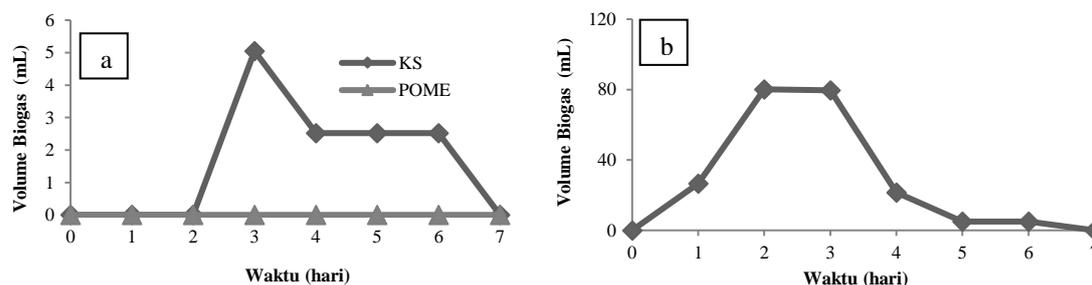
Berdasarkan hasil standarisasi yang telah dilakukan, diketahui bahwa bahan yang memiliki potensi dalam memproduksi biogas yaitu kotoran sapi. Hal ini dikarenakan kotoran sapi mengandung mikroba penghasil biogas seperti *Caldoanaerobacter subterraneus*, *Caloramator fervidus* (Yokoyama et al., 2007), *Clostridium thermocellum* (Girija et al., 2013), *Methanospirillum hungatei* (Sundarassu dan Benila, 2017). Aktivitas dari mikroba-mikroba tersebut yang menyebabkan kotoran sapi dapat memproduksi biogas. Namun, pada percobaan POME segar yang diinkubasi selama 7 hari, biogas tidak terbentuk. Hal ini dikarenakan oleh POME yang tidak memiliki mikroba penghasil biogas seperti pada kotoran sapi. Hal ini menunjukkan bahwa pada saat fermentasi, penggunaan POME selama fermentasi hanya sebagai substrat dan bukan agen penghasil biogas.

Biogas mulai terbentuk pada hari ke-3 dengan volume 5,04 mL. Suatu proses fermentasi, pertumbuhan mikroba dimulai dari fasa lambat (*lag phase*), dikarenakan mikroba masih mengalami adaptasi terhadap lingkungan barunya. Fasa ini ditunjukkan dengan belum adanya aktivitas biologis yang terjadi sehingga pertumbuhan populasi mikroba yang dapat menghasilkan biogas tidak berlangsung dengan baik (Singh et al., 2013).

Pada penelitian ini, fasa lambat terjadi pada hari ke-1 hingga hari ke-2. Selanjutnya, produksi biogas pada hari ke-4 mengalami penurunan mencapai 2,52 mL. Penurunan produktivitas ini disebabkan oleh jumlah substrat yang



terdapat pada kotoran sapi yang semakin berkurang akibat dikonsumsi oleh mikroba. Sehingga biogas yang dihasilkan mengalami penurunan dan pada akhirnya habis pada hari ke-7 seperti pada gambar 1a.



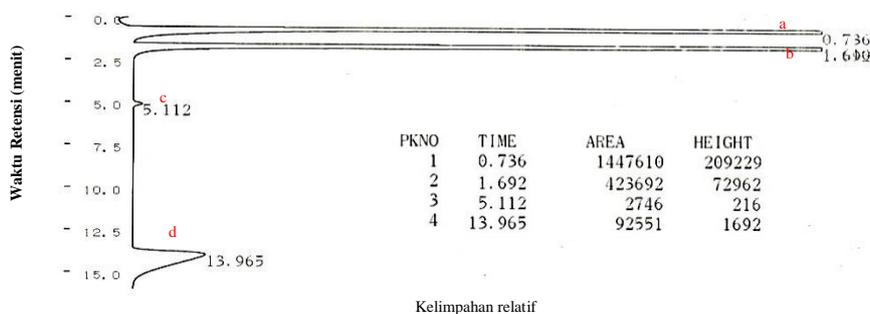
**Gambar 1.** Perbandingan Potensi Biogas oleh Kotoran Sapi (KS) Kotoran Sapi + Buffer Fosfat pH 7 (KS+Buffer) dan POME dalam Proses Standarisasi (a) Waktu Optimum Produksi Biogas yang Ditunjukkan pada Waktu Fermentasi hari ke-2 dan ke-3 (b)

### Penentuan Waktu Optimum Produksi Biogas dan Analisis Pengaruh Metanogenesis terhadap Produktivitas Biohidrogen

Penentuan Waktu Optimum Produksi Biogas. Berdasarkan hasil yang diperoleh, pada hari ke-2 dan ke-3, mikroba mulai beraktivitas secara optimal sehingga produksi biogas mengalami peningkatan yang mencapai 80,14 mL dan 79,51 mL. Selanjutnya pada hari ke-4 mengalami penurunan yang sangat drastis dengan volume biogas 21,45 mL, hingga pada hari ke-7 biogas tidak lagi diproduksi seperti yang digambarkan pada grafik dalam gambar 1b. Dari data tersebut, dapat diketahui bahwa waktu optimum kotoran sapi yang menggunakan substrat POME dalam memproduksi biogas yaitu pada hari ke-2 dan ke-3. Sehingga, pada tahap optimasi yang dilakukan pada prosedur berikutnya menggunakan UASR menggunakan waktu fermentasi selama 3 hari.

### Pengaruh Mikroba Metanogenik Terhadap Produksi Biohidrogen

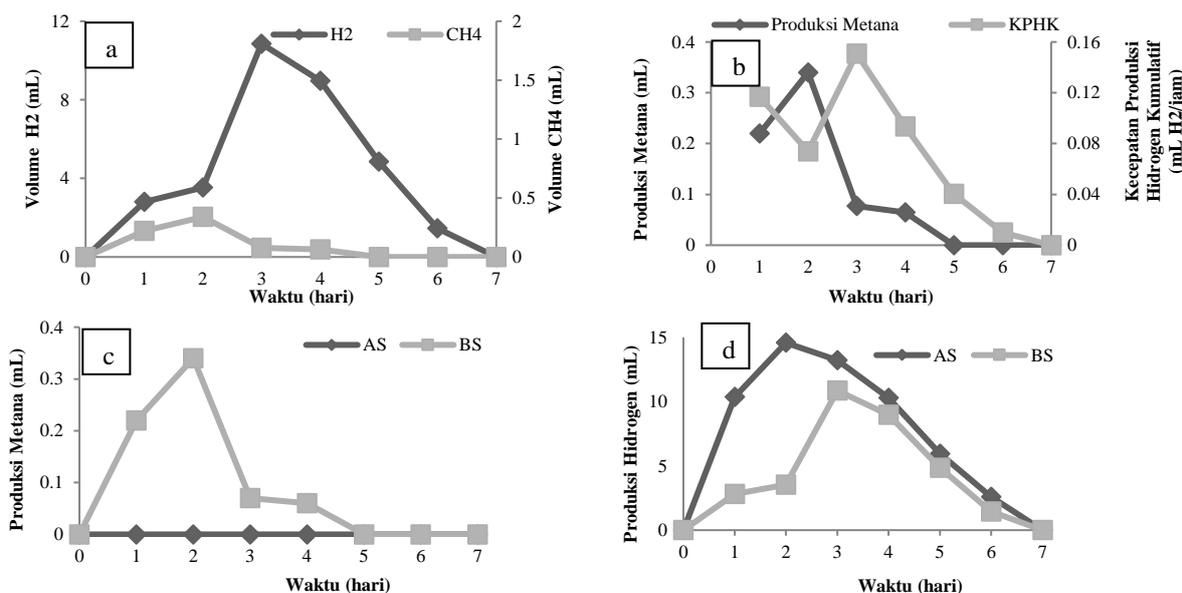
Kotoran sapi mengandung mikroba metanogenik yang menghasilkan biogas berupa metana. Hal ini tentunya dapat mempengaruhi jumlah volume hidrogen yang dihasilkan dalam proses fermentasi[8]. Berdasarkan data yang didapat, setelah dilakukan pengukuran volume biogas dan dianalisis komposisi biogas yang diproduksi menggunakan GC-TCD. Hasil kromatogram yang diperoleh dari analisis biogas ini dapat dilihat pada gambar 2 berikut.



**Gambar 2.** Kromatogram Biogas Hasil Fermentasi a) hidrogen; c) Nitrogen; d) Metana; dan e) karbon dioksida

Gambar 2 menunjukkan bahwa puncak yang muncul pada hasil analisis biogas terdiri dari hidrogen (H<sub>2</sub>), Nitrogen (N<sub>2</sub>) metana (CH<sub>4</sub>) dan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dengan waktu retensi (Rt) masing-masing yaitu 0,736; 1,692; 5,112 dan 13,965 menit. Puncak a menunjukkan adanya gas hidrogen yang terkandung pada biogas yang muncul pada rentang Rt 0,6-0,9 menit. Sedangkan puncak b menunjukkan keberadaan gas nitrogen. Gas nitrogen ini berasal dari proses anaerob yang memasukkan gas nitrogen botol serum pada kondisi awal fermentasi. Hal ini dilakukan karena aktivitas mikroba dalam menguraikan substrat dan menghasilkan biogas dalam keadaan anaerob.

Data ini mengkonfirmasi data standar metana yang terbentuk pada proses fermentasi sebelum dilakukannya *suppressing* mikroba metanogenik. Keberadaan gas metana disebabkan oleh adanya proses metanogenesis sehingga dapat berpengaruh terhadap produksi biohidrogen.



**Gambar 3.** Pengaruh Proses Metanogenesis Terhadap Produksi Biohidrogen (a), Pengaruh Produksi Metana Terhadap Kecepatan Produksi Hidrogen Kumulatif (KPHK) (b) Perbandingan Produksi Metana antara Sebelum Suppressing (BS) dengan Setelah Suppressing (AS) (c) Perbandingan Produksi Hidrogen antara Sebelum Suppressing (BS) dengan Setelah Suppressing (AS) (d)

Gambar 3a menunjukkan bahwa proses metanogenesis terjadi pada hari ke-1, ke-2, ke-3 dan ke-4 yang ditandai dengan munculnya gas metana dengan volume masing-masing yaitu 0,21; 0,34; 0,07 dan 0,06 mL. Proses metanogenesis yang terjadi sangat berpengaruh terhadap produktivitas hidrogen (Tanikkul, P dan Pisutpaisal, 2014). Akibat dari reaksi metanogenesis ini menyebabkan menurunnya kecepatan produksi hidrogen kumulatif (KPHK) selama proses fermentasi seperti pada gambar 3b.

Meningkatnya produksi metana pada hari ke-2 (gambar 3b) berbanding terbalik dengan KPHK. Penurunan KPHK ini yang menyebabkan volume total hidrogen tidak meningkat dengan pola yang baik pada hari ke-2. Namun, setelah produksi metana menurun, KPHK justru meningkat hingga 0,15 mL H<sub>2</sub>/jam. Grady et al. (1999) menjelaskan bahwa dalam memproduksi metana, mikroba metanogenik menggunakan hidrogen sebagai bahan baku untuk mereduksi karbon dioksida. Sehingga dapat menurunkan produktivitas hidrogen pada saat fermentasi karena digunakan dalam proses metanogenesis tersebut. Secara umum, reaksi metanogenesis dapat dijelaskan dengan persamaan reaksi berikut ini.



Berdasarkan persamaan reaksi di atas, dapat dilihat bahwa 2 molekul hidrogen (H<sub>2</sub>) dapat dikonversikan menjadi 1 molekul metana (CH<sub>4</sub>) oleh mikroba metanogenik. Oleh sebab itu, volume hidrogen akan semakin menurun seiring bertambahnya volume metana sebagai hasil proses metanogenesis.

### Optimasi Produktivitas Biohidrogen dengan Metode Suppressing Pengaruh Suppressing Terhadap Produksi Metana

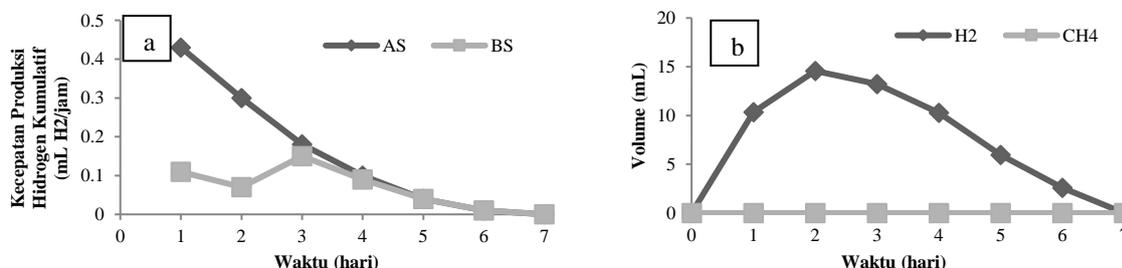
Berdasarkan hasil yang diperoleh, gas metana tidak lagi terbentuk setelah dilakukan suppressing (*After Suppressing, AS*). Hal ini disebabkan oleh mikroba metanogenik yang tidak mampu bertahan hidup pada suhu tinggi sebagaimana pada saat suppressing dilakukan. Sehingga tidak ada lagi proses metanogenesis yang terjadi pada inokulum kotoran sapi. Jika dibandingkan dengan gas metana yang dihasilkan pada percobaan sebelum dilakukan suppressing (*Before Suppressing, BS*) pada inokulum, volume total gas metana yang diproduksi selama proses fermentasi yaitu sebanyak 0,69 mL. Sedangkan hasil produksi metana setelah suppressing yaitu 0 mL seperti pada gambar 3c. Hasil analisis data dan perhitungan menunjukkan persentase efektifitas metode suppressing terhadap penghilangan gas metana pada penelitian ini yaitu sebesar 100 %.

### Pengaruh Suppressing terhadap Produksi Biohidrogen

Setelah dilakukan suppressing volume hidrogen yang diproduksi mengalami peningkatan. Peningkatan ini terjadi karena tidak ada lagi hidrogen yang dikonversikan untuk memproduksi metana oleh mikroba metanogenik. Oleh sebab itu, semua hidrogen yang diproduksi oleh mikroba penghasil hidrogen terhitung lebih banyak dibandingkan sebelum dilakukan suppressing. Perbandingan ini dapat dilihat pada gambar 3d.

### Pengaruh Suppressing terhadap Kecepatan Produksi Biohidrogen Kumulatif.

Volume hidrogen yang diproduksi (gambar 3d) merupakan representasi dari kecepatan produksi hidrogen kumulatif pada setiap hari fermentasinya. Kecepatan produksi hidrogen kumulatif ini jika dibandingkan antara sebelum dengan setelah dilakukannya suppressing, dapat diamati bahwa terjadi peningkatan yang sangat drastis setelah dilakukannya suppressing. Peningkatan ini sangat dipengaruhi oleh KPHK sebelum suppressing dimana pada hari ke-1 yang hanya 0,11 mL H<sub>2</sub>/jam, setelah dilakukan suppressing meningkat hingga 0,43 mL H<sub>2</sub>/jam. Perbandingan kecepatan produksi hidrogen kumulatif pada hari berikutnya dapat dilihat pada gambar 4a.



**Gambar 4.** Perbandingan Kecepatan Produksi Hidrogen Kumulatif antara Sebelum Suppressing (BS) dengan Setelah Suppressing (AS) (a) Produktivitas Hidrogen (H<sub>2</sub>) dan Metana (CH<sub>4</sub>) setelah suppressing (b)

### Produktivitas Biohidrogen Setelah Suppressing

Produksi hidrogen yang paling optimal dalam percobaan ini dicapai pada hari ke-2 dengan volume 14,57 mL. Selanjutnya mengalami penurunan pada hari ke-3 hingga hari ke-7 dikarenakan sediaan makanan pada substrat yang setiap harinya semakin berkurang. Sedangkan produksi metana selama fermentasi tidak diperoleh. Data ini dapat dilihat pada gambar 4b.

### Perbandingan Data Optimasi Sebelum dan Setelah Suppressing

Perbandingan data optimasi antara sebelum dilakukan suppressing dengan setelah dilakukan suppressing dapat dilihat pada tabel 3.

**Tabel 2.** Perbandingan Volume Hidrogen dan Metana, Kecepatan Produksi Hidrogen Kumulatif (KPHK) antara BS dan AS

t (hari)	Volume H <sub>2</sub> <sup>a)</sup>		Volume CH <sub>4</sub> <sup>a)</sup>		KPHK <sup>b)</sup>		Yield <sup>c)</sup>	
	BS	AS	BS	AS	BS	AS	BS	AS
0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	2.80	10.35	0.22	0	0.11	0.43	24.87	74.49
2	3.53	14.57	0.34	0	0.07	0.30	30.13	104.82
3	10.85	13.22	0.07	0	0.15	0.18	92.46	95.16
4	8.97	10.29	0.06	0	0.09	0.10	76.42	74.08
5	4.85	5.95	0	0	0.04	0.04	41.39	42.82
6	1.44	2.59	0	0	0.01	0.01	12.34	18.65
7	0	0	0	0	0	0	0	0

Keterangan: a) satuan dalam mL; b) satuan dalam mL H<sub>2</sub>/jam; c) satuan dalam mL H<sub>2</sub>/g COD

Dari data perbandingan di atas, dapat dilihat bahwa metode suppressing dapat menghilangkan produksi gas metana secara sempurna dengan persentase removal yaitu 100 %. Selain itu, metode suppressing juga dapat meningkatkan produktivitas hidrogen dengan persentase peningkatan yaitu sebesar 75,51 % serta memiliki kecepatan produksi hidrogen kumulatif 2,86 kali lebih besar daripada fermentasi tanpa dilakukan suppressing.

Hasil yang diperoleh memiliki optimasi yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan beberapa penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Tanikul dan Pisutpaisal (2014) yang memproduksi biohidrogen tanpa perlakuan dan Nipon et al. (2014) yang melakukan optimasi dengan metode POME terozonasi seperti pada tabel di bawah ini.

**Tabel 3.** Perbandingan Metode Suppressing Mikroba Metanogenik dengan Beberapa Referensi

Inokulum (%)	Metode	COD Removal (%)	Yield (mL H <sub>2</sub> /g COD)	Referensi
20	Suppressing mikroba metanogenik	76,5	104,8	Penelitian ini
20	POME terozonasi	44,0	70,1	Tanikul dan Pisutpaisal (2014)
20	Tanpa perlakuan	24,2	17,1	Nipon et al. (2014)



## Kesimpulan

Metode *Suppressing* dapat meningkatkan produktivitas hidrogen hingga 75,61 % dengan *yield* dan kecepatan hidrogen kumulatif maksimum yang diperoleh masing-masing yaitu 104,82 mL H<sub>2</sub>/g COD dan 0,43 mL H<sub>2</sub>/jam serta dapat menghilangkan produksi metana sebesar 100 %.

## Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kami ucapkan kepada pihak Pusat Teknologi Sumberdaya Energi dan Industri Kimia Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (PTSEIK-BPPT) dan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Jambi (FST-UNJA) yang telah mendukung pelaksanaan penelitian ini secara teori dan materi.

## Daftar Notasi

h	= ketinggian tabung (cm)
V <sub>t</sub>	= volume tabung akhir (mL)
V <sub>0</sub>	= volume tabung awal (mL)
V	= Volume biogas (mL)
π	= nilai phi (3.14)
r	= Jari-jari tabung (cm)
T	= Suhu (°C)
KPHK	= Kecepatan Produksi Hidrogen Kumulatif (H <sub>2</sub> /jam)
Yield	= Hasil yang didapat persatuan substrat (mL H <sub>2</sub> /g COD)

## Daftar Pustaka

- Apriani, I. 2009. Pemanfaatan limbah cair kelapa sawit sebagai energi alternatif terbarukan (biogas). *Tesis*. Program Studi Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Bockris, J. O. M. 2002. The Origin of Ideas on A Hydrogen Economy And Its Solution to the Decay of The Environment. *International Journal of Hydrogen Energy*. Vol. (27): 731–740.
- BPPT. 2016. *Outlook Energi Indonesia, Pengembangan Energi untuk Mendukung Industri Hijau 2016*. Jakarta: Pusat Teknologi Sumberdaya Energi dan Industri Kimia, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi.
- BPS. 2014. *Perkembangan Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Jenis*. Jakarta: Badan Pusat Statistik.
- BPS. 2015. *Luas Tanaman Perkebunan Menurut Propinsi dan Jenis Tanaman, Indonesia*. Jakarta: Badan Pusat Statistik.
- BPS. 2015a. *Jumlah Ternak yang dipotong di rumah potong hewan (RPH) menurut Provinsi dan Jenis Ternak*. Jakarta: Badan Pusat Statistik.
- Christopher, K. and R. Dimitrios. 2012. A Review on Energy Comparison of Hydrogen Production Methods from Renewable Energy Sources. *Energy Environmental Science*. Vol. 5: 6640–6651.
- DEN. 2016. *Outlook Energi Indonesia 2016*. Jakarta: Sekretariat Jendral Dewan Energi Nasional.
- Direktorat Jendral Perkebunan. 2015. *Statistik Perkebunan Indonesia, 2014-2016 Kelapa Sawit Palm Oil*. Jakarta: Direktorat Jendral Perkebunan.
- Fan, Y. T., G. S. Zhang, X. Y. Guo, Y. Xing, M. Hong. 2006. Biohydrogen-Production from Beer Lees Biomass by Cow Dung Compost. *Biomass and Bioenergy*. 30: 493–496.
- Girija, D., K. Deepa, F. Xavier, I. Antony and P. R. Shidhi. 2013. Analysis of Cow Dung Microbiota-A Metagenomic Approach. *Indian Journal of Biotechnology*. Vol 12: 373-378
- Grady, C. P. L., G. T. Daigger and H. C. Lim. 1999. *Biological Wastewater Treatment. 2nd edition*. New York: Marcel Dekker, Inc.
- Ismail, I., M. A. Hassan, N. A. A. Rahman, C. S. Soon. 2010. Thermophilic Biohydrogen Production from Palm Oil Mill Effluent (POME) Using Suspended Mixed Culture. *Journal of Biomass and Bioenergy*. Vol 34 hal: 42–47.
- Mahajoeno, E. 2008. Pengembangan Energi Terbarukan dari Limbah Cair Pabrik Minyak Kelapa Sawit. *Disertasi*. Program Studi Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Mladenovska, Z., S. Dabrowski and B. K. Ahring. 2003. Anaerobic Digestion of Manure and Mixture of Manure With Lipids: Biogas Reactor Performance and Microbial Community Analysis. *Water Science and Technology*. Vol 48. No 6 page: 271–278.
- Nipon P., Tanikkul, P. dan Phoochinda, W. 2014. Improvement of Mesophilic Biohydrogen Production from Palm Oil Mill Effluent Using Ozonation Process. *Energy Procedia*. 50. 723-728.
- Norfadilah, N. Raheem, A., Harun, R. dan Ahmadun, F. R. 2016. Bio-hydrogen Production from Palm Oil Mill Effluent (POME): A Preliminary Study. *International Journal of Hydrogen Energy*. Vol. 41 No. 28: hal. 11960-11964.





- Patel, B. K. C., C. Monk, H. Littleworth, H. W. Morgan, and R. M. Daniel 1987. *Clostridium fervidus* sp. novel a New Chemoorganotrophic Acetogenic Thermophile. *International Journal of Systematic Bacteriology*, page: 123-126.
- Sari, D. A dan Hadiyanto. 2013. Proses Produksi Bioenergi Berbasis Bioteknologi. *Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan*. Vol. 2 (3): 108-113.
- Singh, L., M. F. Siddiqui, A. Ahmad, M. H. A Rahim dan Z. A. Wahid. 2013. Biohydrogen Production from Palm Oil Mill Effluent Using Immobilized Mixed Culture. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. Vol 19. hal: 659–664.
- Sundarassu, S. P. and J. M. S. Benila. 2017. Biogas Production from Cow Dung Using Methanogen Bacteria. *International Journal of Research*. Vol. 4 (7): 1-10.
- Tanikkul, P and Pisutpaisal, N. 2014. Biohydrogen Production under Thermophilic condition from Ozonated Palm Oil Mill Effluent. *Energy Procedia*. 61. 1234-1238
- Yokoyama, H., N. Moriya, H. Ohmori, M. Waki, A. Ogino and Y. Tanaka. 2007. Community analysis of hydrogen-producing extreme thermophilic anaerobic microflora enriched from cow manure with five substrates. *Applied Microbiology Biotechnology*. Vol 77. page: 213–222.





## Lembar Tanya Jawab

**Moderator** : **Lestari Hetalesi Saputri (Politeknik LPP Yogyakarta)**  
**Notulen** : **Diana Sulistyo (UPN "Veteran" Yogyakarta)**

1. Penanya : Mifta Zanaria (Teknik Kimia UPN "Veteran" Yogyakarta)  
Pertanyaan : Apa kelebihan metode suppressing? Apa berpedaannya dengan penelitian yang lain?  
Jawaban : Metode suppressing memiliki efektivitas yang baik, dimana pemanasan yang dilakukan dapat menghambat aktivitas mikroba metanogenik dengan sempurna dibanding metode lain.
2. Penanya : Fahri Taufiq (Teknik Kimia UPN "Veteran" Yogyakarta)  
Pertanyaan : Apakah kotoran sapi dapat diganti dengan kotoran lain?  
Jawaban : Kotoran sapi dapat digantikan kotoran lain, seperti kotoran kambing dan kotoran lain yang memiliki mikroba penghasil biohidrogen lainnya.

