



SCALE UP OF BIOGAS STARTER PRODUCTION: ENRICHMENT OF ACTIVATED SLUDGE FROM BIOGAS FOR BIO-HYDROGEN PRODUCTION

SCALE UP PEMBUATAN STARTER BIOGAS: PENGAYAAN LUMPUR AKTIF DARI BIOGAS UNTUK PRODUKSI BIO-HIDROGEN

Septina Is Heriyanti, Joni Prasetyo, Galuh Wirama Murti, Atti Sholihah, Arya Baskara

Pusat Teknologi Sumberdaya Energi dan Industri Kimia, BPPT.

*Email: septina.is@bppt.go.id

Received : 14 Juni 2021; Accepted : 28 Juli 2021; Publish : Juli 2021

ABSTRACT

Palm Oil Mill Effluent (POME) as liquid waste from palm oil processing has a high organic content so it is suitable for anaerobic digestion process to produce biogas and bio-hydrogen. This study aims to prepare activated sludge from biogas starter which will be used for bio-hydrogen production. The production of biogas starter with cow dung using POME as feed and the addition of nutrients (urea and diammonium phosphate (DAP)) at a certain ratio and buffer (soda ash) was carried out in a fermenter with a capacity of 1 m³ using a fed batch system. During one month of fermentation, methane concentration in biogas increased and stabilized until it reached the highest concentration at 33.7%. The fermentation process also produces hydrogen whose concentration decreases with time because hydrogen-producing microbes are dominant at the beginning of the fermentation, but then the hydrogen produced was consumed by methanogenic bacteria to produce CO₂ and CH₄. This confirmed that the activated sludge produced from the 1 m³ fermenter contained hydrogen-producing bacteria which were then further processed, one of which was heating at a certain temperature, to suppress the growth of methanogenic bacteria.

Keywords : biogas starter, POME, cow manure, fermentor 1m³, anaerobic digestion, activated sludge, biohydrogen

Abstrak

POME (*Palm Oil Mill Effluent*) yang merupakan limbah cair dari pengolahan kelapa sawit memiliki kandungan organik yang cukup tinggi sehingga sesuai untuk proses digesti anaerob untuk menghasilkan biogas maupun biohidrogen. Penelitian ini bertujuan untuk preparasi lumpur aktif dari starter biogas yang akan digunakan untuk produksi biohidrogen. Proses pembuatan starter biogas dengan kotoran sapi menggunakan umpan POME, dengan penambahan nutrisi (urea dan DAP) pada perbandingan tertentu dan buffer (*soda ash*) ini dilakukan pada fermentor dengan kapasitas 1 m³ menggunakan sistem *fed batch*. Selama 1 bulan fermentasi, biogas yang dihasilkan memiliki konsentrasi gas metana yang semakin meningkat dan mencapai konsentrasi tertinggi pada 33,7%. Proses fermentasi menghasilkan gas hidrogen yang konsentrasinya semakin berkurang dengan bertambahnya waktu karena mikroba penghasil hidrogen dominan di awal fermentasi, namun kemudian hidrogen yang dihasilkan dikonsumsi oleh bakteri metanogenik menghasilkan CO₂ dan CH₄. Hal ini mengkonfirmasi bahwa lumpur aktif yang dihasilkan dari fermentor 1 m³ ini mengandung bakteri penghasil hidrogen yang kemudian diproses lebih lanjut, salah satunya dengan pemanasan pada suhu tertentu, untuk menekan pertumbuhan bakteri metanogenik.

Kata kunci: starter biogas, POME, kotoran sapi, fermentor 1m³, digesti anaerob, lumpur aktif, biohidrogen



PENDAHULUAN

Tren pemanfaatan energi baru dan terbarukan semakin berkembang akhir-akhir ini. Selain ramah lingkungan, energi baru dan terbarukan ini bisa dikembangkan di setiap daerah sesuai dengan potensi yang tersedia di daerah tersebut. Hidrogen merupakan salah satu energi terbarukan yang sangat menjanjikan di masa depan. Hidrogen merupakan bahan bakar bersih yang hanya menghasilkan air dalam pemakaiannya dan tidak menghasilkan polutan ke udara. Hidrogen ini bisa diproduksi dari berbagai sumber melalui beberapa proses antara lain termokimia, *thermal cracking* dari gas alam serta pemecahan air melalui elektrolisis. Selain itu hidrogen juga bisa dibuat dari biomassa melalui proses termokimia (gasifikasi dan pirolisa) serta secara biologi (*fermentation*). Proses biologi adalah suatu proses yang melibatkan makhluk hidup didalamnya. Keunggulan proses tersebut termasuk ramah lingkungan atau disebut juga sebagai *green chemistry* karena prosesnya dapat menurunkan atau menghilangkan bahan berbahaya [1].

Sebagai salah satu penghasil kelapa sawit terbesar di dunia, Indonesia memiliki banyak unit pengolahan kelapa sawit yang tersebar di beberapa daerah. Dalam proses pengolahannya, dihasilkan limbah padat maupun limbah cair. Produksi limbah ini

semakin meningkat dengan peningkatan produksi Tandan Buah Segar (TBS) dan luas areal perkebunan kelapa sawit. *Palm Oil Mill Effluent* (POME) adalah limbah cair yang berasal dari air pengolahan kelapa sawit seperti kondensat rebusan, proses penjernihan minyak mentah, dan limbah *sludge* proses separasi. POME mengandung banyak padatan terlarut dari material lignoselulosa. Setiap pengolahan satu ton TBS akan dihasilkan 583 kg limbah cair POME [2]. POME ini akan menyebabkan masalah saat dibuang langsung ke lingkungan karena kandungan COD, BOD nya yang tinggi serta pH-nya yang bersifat asam. Selain itu juga akan dihasilkan beberapa gas rumah kaca ke udara seperti CO₂ dan CH₄. Setiap ton POME di kolam pembuangan akan menghasilkan kira-kira 5,5 kg CH₄ yang tidak dapat ditangkap sehingga akan terlepas begitu saja ke udara sebagai gas rumah kaca [3].

Kandungan organik yang tinggi dalam POME sangat berpotensi untuk memanfaatkan POME salah satunya menggunakan proses fermentasi anaerobik untuk menghasilkan biogas maupun hidrogen.

Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan pembuatan biogas dengan reaktor *batch* berkapasitas kecil yang dilakukan pada botol tertutup 100mL menggunakan lumpur aktif dari Adolina ditambah dengan kotoran



sapi [4]. Penambahan kotoran sapi ini dimaksudkan sebagai sumber mikroba bakteri penghasil H_2 dalam biogas. Kemudian lumpur aktif yang dihasilkan dari reaktor *batch* tersebut kemudian digunakan untuk produksi biohidrogen pada reaktor *fed batch* berkapasitas 2,5 L. Komposisi gas yang dihasilkan dari reaktor ini hanya terdiri dari H_2 dan CO_2 [4].

Dalam penelitian ini akan dilakukan *scale up* pembuatan starter biogas pada reaktor $1m^3$ untuk membuat lumpur aktif yang akan digunakan pada produksi biohidrogen.

BAHAN DAN METODE

Bahan

Pembuatan starter biogas untuk produksi biohidrogen ini menggunakan umpan POME, kotoran sapi sebagai starter dan urea serta DAP (diammonium phosphate) sebagai nutrisi untuk mikroorganisme. Kotoran sapi digunakan karena kandungan bakteri metanogen alami dari rumen hewan ruminansia seperti *Methanobacterium ruminantium* dan *Methanobacterium formicum* [5]. Pembuatan starter dengan kotoran sapi pada pembuatan biogas dengan umpan POME dibutuhkan untuk meningkatkan produksi biogasnya. Penambahan *soda ash* berfungsi sebagai buffer untuk menjaga pH agar tidak terlalu

asam.

POME yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari unit pengolahan kelapa sawit PTPN VIII Cikasungka. PKS ini terletak di Bogor dengan kapasitas olah 30 ton TBS/jam. Tabel 1 menunjukkan hasil analisa limbah POME. Bahan starter yang berupa kotoran sapi diperoleh dari peternakan sapi yang ada di Agro Puspipstek yang terletak di Kawasan Puspipstek Serpong.

Tabel 1. Analisis awal limbah POME PKS Cikasungka PTPN VIII

Parameter	Nilai	Satuan
COD	19.440	mg/L
pH	4.4-5.2	-
Kadar minyak	2.0	mg/L
Warna	Kuning kecokelatan	-

Metode

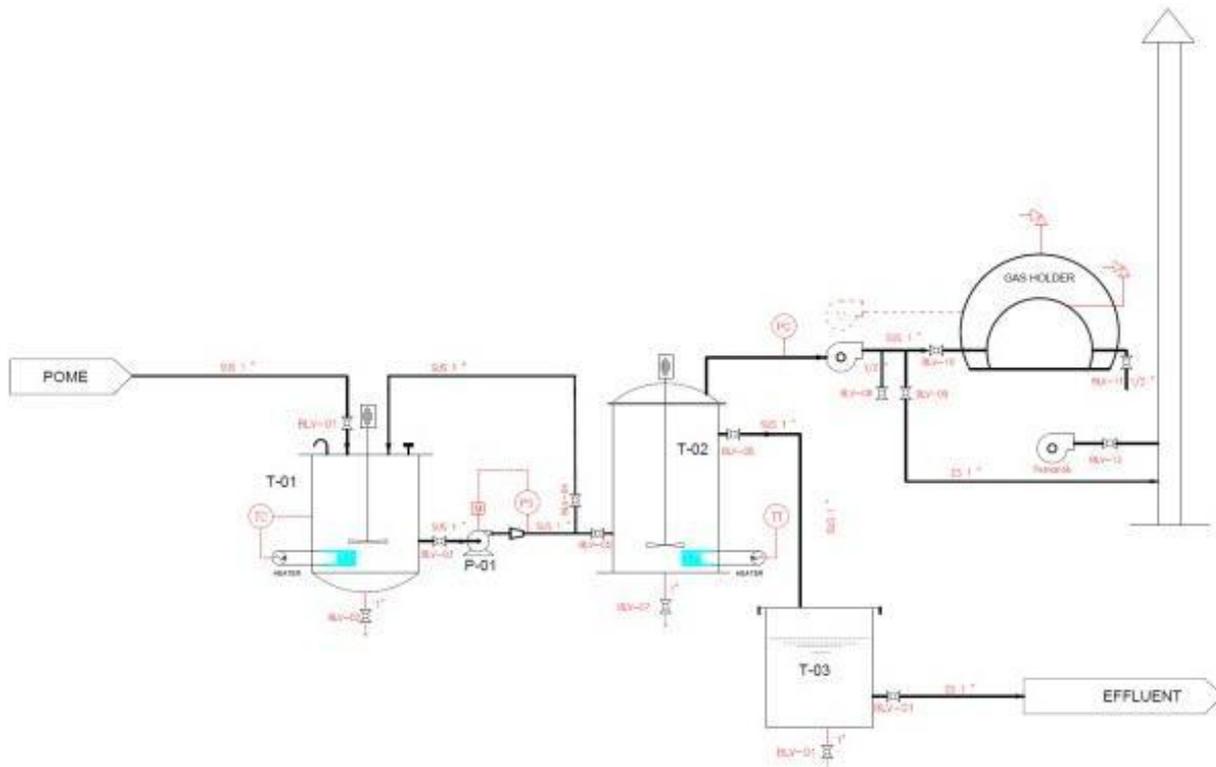
Penelitian dilakukan menggunakan bioreaktor dengan kapasitas $1 m^3$, seperti yang bisa dilihat pada Gambar 1. Bioreaktor ini terdiri dari 3 tangki yaitu T-01 yang digunakan untuk *pretreatment*, T-02 yang merupakan fermentor dan T-03 merupakan penampung sementara *overflow* yang keluar dari fermentor.

Proses ini menggunakan sistem *fed batch*, dimana umpan, nutrisi dan buffer ditambahkan secara berkala ke dalam fermentor. Pengadukan dilakukan dalam



fermentor untuk homogenisasi campuran, mikroorganismenya dan produk metabolisme. Sistem yang homogen akan membuat

proses fermentasi berlangsung lebih sempurna [6]



Gambar 1. Diagram alir bio-CSTR 1 m³



Starter biogas dibuat dengan mencampurkan kotoran sapi dan air secara bertahap setiap 2 hari sekali selama 6 hari dengan ditambah nutrisi berupa urea dan DAP (rasio urea:DAP = 4:1). Pada hari ke 7 baru ditambahkan POME sebanyak 40 L. Selanjutnya POME segar sebanyak 30 L dan nutrisi dengan perbandingan urea dan DAP sebesar 5:2 ditambahkan setiap hari. Selain itu juga ditambahkan *soda ash* untuk mempertahankan pH *slurry* tetap di atas 5.

Proses fermentasi ini dimulai dari awal pengumpanan starter ke dalam fermentor hingga *overflow*, yang menunjukkan bahwa fermentor sudah dipenuhi oleh umpan POME yang dimasukkan secara berkala. Kemudian data direkam selama satu bulan.

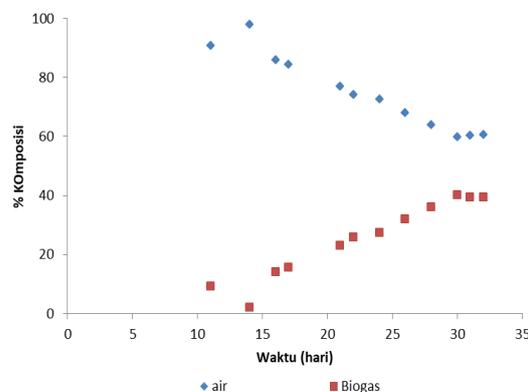
Produk gas dari proses fermentasi ini dianalisa menggunakan GC TCD untuk mengetahui komposisinya. Produk gas dikumpulkan dalam kantong sampel gas (*sampling bag*). Analisa dilakukan secara offline dengan GC Shimadzu 8A Series dengan kolom Shincarbon ST. Selain itu sampel liquid dari fermentor maupun *overflow* dilakukan analisa COD dan BOD.

Analisis COD menggunakan Lovibond MD 100 COD kit dengan vial COD / CSB 0-15.000 ppm yang mengandung kalium dikromat, HgSO₄ dan asam sulfat 61%.

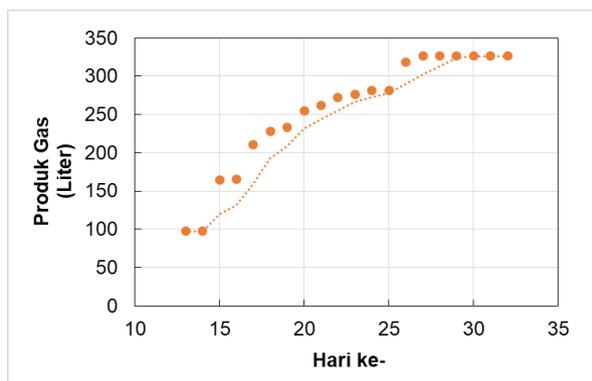
Pengecekan pH dalam fermentor juga dilakukan secara berkala. Analisa pH menggunakan pH meter portable merk Hanna tipe HI98107.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Komposisi produk gas yang dihasilkan dari proses pembuatan starter biogas dalam rangka pembuatan lumpur aktif untuk proses produksi biohidrogen ditunjukkan pada gambar 2. Dengan bertambahnya jumlah substrat (POME) dan waktu fermentasi, jumlah udara dalam fermentor semakin menurun dan digantikan dengan biogas yang diproduksi dari proses fermentasi tersebut, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.



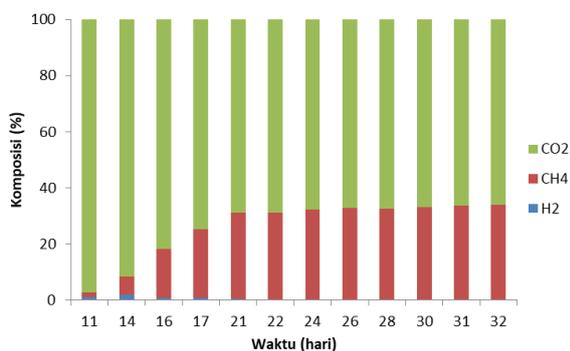
Gambar 2. Komposisi udara dan biogas hasil fermentasi anaerob POME pada fermentor 1m³



Gambar 3. Produktivitas gas secara kumulatif

Gambar 3 menunjukkan produk gas yang dihasilkan selama proses fermentasi. Pada hari ke-11 mulai terbentuk produk gas dengan volume rata-rata produk sebesar 16,3 L per hari.

Sedangkan komposisi dari biogas yang dihasilkan selama proses fermentasi sendiri ditunjukkan pada gambar 4. Terlihat bahwa konsentrasi gas metana cenderung meningkat secara signifikan dari hari ke-11 sampai dengan hari ke-21, kemudian stabil hingga hari ke-32.



Gambar 4. Komposisi biogas

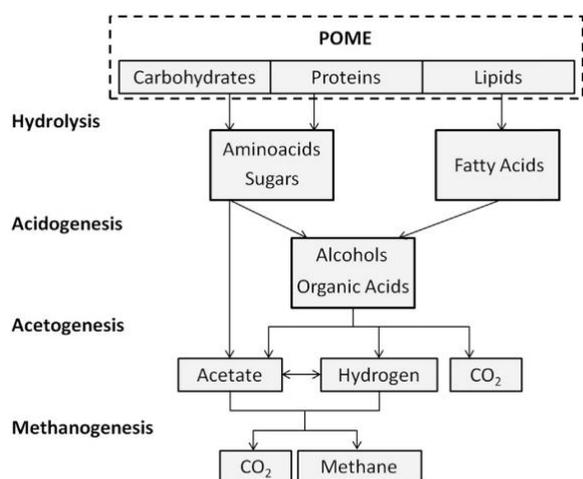
Secara teoritis, POME bisa menghasilkan biogas dengan rasio CH₄ : CO₂ (70:30%)

[7]. Tetapi pada penelitian ini menunjukkan bahwa dalam rentang waktu sampai 32 hari, komposisi CH₄ yang dihasilkan hanya mencapai maksimal 33,7% dan CO₂ sangat mendominasi komposisi biogas yang dihasilkan. Beberapa hal mungkin mempengaruhi kondisi ini dimana pH *slurry* tidak mencapai pH yang optimum untuk proses metanogenik yaitu sekitar 7-7,5. Berdasarkan pengukuran, pH *slurry* maksimal mencapai 5,4 yang merupakan pH optimal untuk tahap hidrolisis dan asidogenik (5,2-6,3). Hal ini terjadi karena sistem *fed batch* yang dilakukan selalu menambahkan umpan POME yang pH nya maksimal 5,2 dan tidak diimbangi dengan penambahan *buffer* yang mencukupi untuk menaikkan pH. Selain itu kandungan minyak/LCFA (*long chain fatty acid*) dalam POME juga bisa menjadi salah satu faktor penghambat produksi biogas karena absorpsi LCFA oleh bakteri akan merusak transportasi dan perlindungan sel bakteri [8].

Gas hidrogen juga dihasilkan dalam proses fermentasi ini tetapi sangat sedikit sekali dan semakin menurun dengan bertambahnya waktu fermentasi. Pada awal proses fermentasi, terdapat sedikit kandungan gas H₂ sebesar 0,997% yang kemudian turun menjadi 0,104%. Hal ini menunjukkan bahwa di awal proses fermentasi mikroba penghasil H₂ sedikit



dominan dibanding dengan bakteri pengonsumsi H_2 atau metanogenik. Lambat laun, hidrogen yang dihasilkan dikonsumsi oleh bakteri metanogenik menjadi gas metana dan CO_2 seperti yang terlihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Tahapan proses fermentasi gelap oleh konsorsium bakteri (diadaptasi dari [9])

Hal ini mengkonfirmasi bahwa lumpur aktif yang diolah dalam fermentor 1 m^3 mengandung bakteri penghasil H_2 . Lumpur aktif ini yang kemudian diproses lebih lanjut dengan pemanasan yang bertujuan untuk menekan pertumbuhan bakteri pengonsumsi H_2 sehingga akan sesuai untuk proses produksi biohidrogen [10].



Gambar 6. Lumpur aktif dari fermentor 1 m^3

KESIMPULAN

Kotoran sapi berpotensi menghasilkan lumpur aktif untuk pengolahan limbah POME menjadi biogas pada skala 1 m^3 . Terlihat bahwa konsentrasi gas metana meningkat dari hari ke-11 sampai dengan hari ke-21, kemudian komposisi gas produk relatif stabil. Konsentrasi metana tertinggi yang tercapai pada proses pembuatan starter adalah 33,7% pada hari ke-32. Pada awal proses fermentasi, konsentrasi H_2 tercapai sebesar 0,997% yang kemudian menurun seiring dengan waktu. Hal ini menjelaskan bahwa mikroba penghasil hidrogen dominan di awal fermentasi, tetapi dalam tahapan selanjutnya H_2 beserta asam dikonversi oleh mikroba metanogenik menjadi metana. Oleh karena itu, lumpur aktif ini dalam pengolahan lebih lanjut dilakukan dengan menekan mikroba metanogenik sehingga



bisa dijadikan sebagai sumber mikroba penghasil hidrogen.

REFERENSI

- [1] Boodhun, Bibi & Mudhoo, Ackmez & Kumar, Gopalakrishnan & Kim, Sang-Hyoun & Lin, Chiu-Yue. (2017). Research perspectives on constraints, prospects and opportunities in biohydrogen production. *International Journal of Hydrogen Energy*. 42. 10.1016/j.ijhydene.2017.04.077.
- [2] <http://www.bpdp.or.id/Potensi-Limbah-Kelapa-Sawit-Indonesia>).
- [3] Ahmad, A. and Krimly, M.Z., Palm Oil Mill Effluent Treatment Process Evaluation and Fate of Priority Components in an Open and Closed Digestion System, *Current World Environment Journal*, Volume 9, Number 2, (Enviro Research Publishers, 2014), pp. 321-330.
- [4] Joni Prasetyo, et. al., 2018, Palm Oil Mill Effluent (POME) utilization for bio-hydrogen production targeting for biofuel: optimization and scale up, 3rd i-TREC 2018, E3S Web of Conferences 67, 02003. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/2018/6702003>
- [5] Agustine, R. 2011. Produksi Biogas dari Palm Oil Mill Effluent (POME) dengan Penambahan Kotoran Sapi Potong Sebagai Aktivator. Bogor : Institut Pertanian Bogor.
- [6] Mahajoeno, E. 2008. Pengembangan Energi Terbarukan dari Limbah Cair Pabrik Minyak Kelapa Sawit. Bogor : Institut Pertanian Bogor.
- [7] Schnürer, A. and Jarvis, A., *Microbiological Handbook for Biogas Plants*, Swedish Waste Management U2009:03, Swedish Gas Centre Report 207, (Svenskt Gastekniskt Center AB, Sweden, 2010).
- [8] Chen, Y., Cheng, J. J., Creamer, K. S., Inhibitor of Anaerobic Digestion Process: A Review, *Bioresource Technology*, Volume 99, (2008), pp. 4044-4064.]
- [9] Faber, Mariana & Garritano, Alessandro & Ferreira-Leitao, Viridiana & de Sá, Lívian. (2018). Palm oil mill effluent (POME) as raw material for biohydrogen and methane production via dark fermentation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 92. 10.1016/j.rser.2018.04.031.



- [10] Yee Meng Wong, Ta Yeong Wu, Joon Ching Juan, 2014, A Review of Sustainable Hydrogen Production Using Seed Sludge via Dark Fermentation, Renewable and Sustainable Energy Reviews 34, 471-482.