

# STUDI LITERATUR LIMBAH TAPIOKA UNTUK PRODUKSI BIOGAS: METODE PENGOLAHAN DAN PERANAN *STARTER-SUBSTRAT*

Virly Septira Anggari dan Prayitno

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang, Indonesia  
[virlyseptiraanggari@gmail.com](mailto:virlyseptiraanggari@gmail.com), [[prayitno\\_polmal@yahoo.com](mailto:prayitno_polmal@yahoo.com)]

## ABSTRAK

Biogas merupakan sumber energi alternatif dan diproduksi dari air limbah tepung tapioka yang berpotensi sebagai sumber pencemaran lingkungan perairan apabila tidak diolah secara baik dan benar. Limbah cair tepung tapioka mengandung bahan organik tersuspensi seperti protein, lemak, karbohidrat, dan mengandung COD sekitar 7.000 - 30.000 mg/l. Besarnya kandungan COD limbah ini dapat dimanfaatkan untuk memproduksi biogas melalui proses pengolahan secara anaerobik. Tujuan dari studi literatur untuk menemukan gambaran yang menyeluruh serta keterkaitan antar pengaruh *starter*-substrat terhadap produksi biogas dari limbah cair industri tepung tapioka. Berdasarkan hasil studi literatur menunjukkan bahwa metode yang efektif digunakan untuk penelitian skala laboratorium adalah menggunakan metode *batch* dan pada rasio *starter*/substrat 4:10 serta jenis *starter* kotoran sapi mampu menghasilkan biogas sebesar 666 ml.

**Kata kunci:** *biogas, digester anaerob, limbah cair tepung tapioka*

## ABSTRACT

*Biogas is an alternative energy source and is produced from tapioca flour wastewater which has the potential as a source of environmental pollution if the water is not treated properly. Tapioca flour liquid waste contains suspended organic matter such as protein, fat, carbohydrates, and contains COD around 7,000 - 30,000 mg/l. The large COD content of this waste can be utilized to produce biogas through anaerobic treatment. The purpose of the literature study is to find a comprehensive picture and the relationship between the influence of starter-substrate on biogas production from tapioca flour industry liquid waste. The results of the literature study show that an effective method used for laboratory-scale research is to use a batch method and at a starter / substrate ratio of 4:10 and the type of cow dung starter is capable of producing biogas of 666 ml.*

**Keywords:** *anaerobic digester, biogas, tapioca flour liquid waste*

## 1. PENDAHULUAN

Industri tapioka merupakan salah satu industri pangan yang terdapat di Indonesia. Bahan baku industri ini adalah umbi ketela pohon yang diolah menjadi tepung tapioka. Tepung tapioka merupakan bahan baku atau bahan pembantu untuk keperluan industri makanan, tekstil, kertas dan lain-lain.

Produksi rata-rata tepung tapioka Indonesia mencapai 15–16 juta ton per tahun [1]. Industri tapioka menghasilkan limbah cair dengan jumlah yang sangat banyak yang berasal dari proses pencucian bahan baku dan pengendapan pati dari air.

Limbah cair tepung tapioka mengandung bahan organik tersuspensi seperti protein, lemak, dan karbohidrat yang berpotensi sebagai sumber pencemaran lingkungan perairan apabila tidak diolah secara baik dan benar [2]. Pada industri tepung tapioka, rata-rata air limbah yang dihasilkan dari proses pencucian dan pengendapan sebesar 4-5 m<sup>3</sup>/ton ubi kayu yang diolah dengan konsentrasi bahan organik sangat tinggi [3]. Air limbah tersebut memiliki karakteristik, antara lain: COD sekitar 7.000 - 30.000 mg/l dan kandungan organik dalam limbah cair tepung tapioka ini berkisar 7.000 - 30.000 ppm [4]. Isdiyanto dan Hasanudin [3] menyebutkan bahwa kandungan COD dalam air limbah industri tepung tapioka bisa mencapai 18.000 – 25.000 mg/l. Limbah cair akan mengalami dekomposisi secara alami di badan-badan perairan dan menimbulkan bau tidak sedap, dimana bau tersebut dihasilkan pada proses penguraian senyawa – senyawa organik yang terkandung dalam limbah cair industri tepung tapioka [5].

Proses industri tapioka mengeluarkan dua macam limbah yaitu limbah padat dan limbah cair. Limbah padat berasal dari proses pengupasan ketela serta proses pemerasan dan penyaringan. Sedangkan limbah cair atau air buangan berasal dari proses pencucian ketela pohon dan proses pengendapan atau pemisahan pati [6]. Industri tapioka skala besar memiliki tahapan proses produksi yaitu pembersihan bahan, pencucian, pamarutan, ekstraksi, pemisahan/separasi, sentrifuge, pengeringan, dan proses pengepakan [7].

Menurut Indarto [5], karakteristik limbah cair industri tepung tapioka mengandung TSS (*Total Suspended Solid*) sebanyak 920 mg/l, BOD (2423-3944 mg/l), COD (4736-15.067 mg/l), pH (3,8-4,5), NO<sub>3</sub> (70 mg/l), PO<sub>4</sub> (80 mg/l). Menurut Vegantara [2], limbah cair tapioka dari hasil pengendapan memiliki nilai BOD sebesar 1450,8–3030,3 mg/l dengan rata-rata 2313,54 mg/l, COD sebesar 3200 mg/l dan padatan terlarut 638,0–2836,0 mg/l serta kandungan sianida (CN) sebesar 19,58–33,75 mg/l. Limbah cair akan mengalami dekomposisi secara alami di badan-badan perairan dan menimbulkan bau yang tidak sedap. Bau tersebut dihasilkan pada proses penguraian senyawa yang mengandung nitrogen, sulfur dan fosfor dari bahan berprotein [8]. Air limbah industri tapioka memiliki kandungan bahan-bahan organik yang cukup tinggi yang menyebabkan pencemaran lingkungan khususnya air sungai. Limbah cair industri tapioka mengandung sebagian besar air, pati terlarut, nitrogen, fosfor, lemak, dan protein dalam konsentrasi yang rendah. Sedangkan kadar mineral limbah cair tapioka terdiri dari Ca, Mg, Fe, Cu, Pb, dan Zn.

Biogas adalah gas yang dihasilkan dari limbah rumah tang-1a, kotoran hewan, kotoran manusia, sampah organik dan sebagainya, yang mengalami proses penguraian atau fermentasi oleh mikroorganisme. Limbah industri tepung tapioka merupakan salah satunya, dimana limbah ini memiliki kontribusi terhadap emisi gas metana [9]. Berdasarkan penelitian terdahulu Wintolo dan Isdiyanto [10] menyebutkan bahwa pengolahan air limbah tapioka dengan menggunakan bioreaktor *Cover Lagoon Anaerobic Reactor* (CoLAR) pada kondisi operasi suhu pada 26 - 28°C dan pH 6,8 – 7,2 dengan kapasitas olah 150 m<sup>3</sup> per hari mampu menghasilkan biogas sebanyak 485,4 m<sup>3</sup> per hari. Indarto [5] menyebutkan bahwa substrat tanpa perlakuan penambahan urea pada kondisi suhu tinggi menghasilkan produksi biogas terbanyak yaitu 314,58 ml/hari dengan komposisi *starter* inokulum limbah cair tepung tapioka sebanyak 20%. Pada penelitian Hafsah dkk. [11] dinyatakan bahwa konsentrasi substrat dapat mempengaruhi prinsip kerja mikroorganisme. Pada percobaan tersebut terdapat perbedaan rasio *starter*/substrat yaitu 2:10; 4:10; 6:10. Volume biogas tertinggi terdapat pada perlakuan

dengan perbandingan volume *starter* dengan substrat 4:10 menghasilkan volume biogas sebanyak 666 ml.

Oleh karena itu dengan mengacu pada beberapa penelitian di atas, kajian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh *starter*-substrat terhadap produksi biogas dari limbah cair industri terbungkus tapioka. Jenis *starter* dan macam-macam tipe *digester* biogas juga nantinya akan dikaji. Sehingga dari pengkajian dan studi literature berbagai jurnal tentang pembuatan biogas tersebut, akan diketahui bagaimana pengaruh *starter*-substrat terhadap produksi biogas dari limbah cair industri terbungkus tapioka dan metode pengolahannya.

## 2. PENGOLAHAN LIMBAH TEPUNG TAPIOKA MENJADI BIOGAS

Biogas merupakan gas campuran terutama terdiri dari metana dan karbondioksida. Biogas diproduksi secara anaerob melalui tiga tahap yakni hidrolisis, asidogenesis, dan metanogenesis [12]. Dalam produksi biogas, semua jenis limbah organik dapat digunakan sebagai substrat seperti limbah dapur, kebun, kotoran sapi dan buangan domestik. Sumber biomassa atau limbah yang berbeda akan menghasilkan perbedaan kuantitas biogas [13]. Biogas dapat terbakar apabila terdapat kadar metana minimal 57% [14]. Sedangkan menurut Hessami dkk. [15] biogas dapat terbakar jika kandungan metana minimal 60%.

Biogas dengan kandungan metana 65-70% memiliki nilai kalor sama dengan 5200-5900 kkal/m<sup>3</sup> energi panas setara 1,25 kwj listrik [12]. Werner dkk. [13] menyatakan per kilogram padatan volatil dapat diperoleh 0,3-0,6 m<sup>3</sup> biogas.

Gas metana (CH<sub>4</sub>) yang merupakan komponen utama biogas merupakan bahan bakar yang berguna karena mempunyai nilai kalor yang cukup tinggi. Karena nilai kalor yang cukup tinggi itulah biogas dapat dipergunakan untuk keperluan penerangan, memasak, menggerakkan mesin dan sebagainya [16]. Sistem produksi biogas juga mempunyai beberapa keuntungan seperti (a) mengurangi pengaruh gas rumah kaca, (b) mengurangi polusi bau yang tidak sedap, (c) sebagai pupuk dan (d) produksi daya dan panas [16].

Bahan biogas dapat diperoleh dari limbah pertanian yang basah, kotoran ternak (*manure*), kotoran manusia dan campurannya. Kotoran ternak seperti sapi, kerbau, babi dan ayam telah diteliti untuk diproses dalam alat penghasil biogas dan hasil yang diperoleh memuaskan [17].

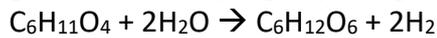
Pengolahan limbah secara anaerobik menghasilkan gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dan metana (CH<sub>4</sub>). Pengurangan massa, produksi metana, dan peningkatan mutu air atau *sludge* yang diolah adalah tujuan utama dari proses ini [9]. Proses penguraian yang lama merupakan kelemahan dari sistem anaerobik. Selain itu, ada beberapa faktor yang perlu diperhatikan dalam proses pembentukan biogas, yaitu rasio C/N, rasio *starter* terhadap substrat, kadar air, derajat keasaman (pH), temperatur proses, lama fermentasi, jenis *starter*, keterlibatan mikroorganisme dan pengadukan [18].

Pembuatan biogas dapat diproduksi melalui proses anaerob (tertutup dari udara bebas) untuk menghasilkan suatu gas yang sebagian besar berupa metana (yang memiliki sifat mudah terbakar) dan karbondioksida. Proses dekomposisi anaerobik dibantu oleh sejumlah mikroorganisme, terutama arkhaea metan. Dekomposisi anaerob mikrobiologis merupakan proses dimana mikroorganisme tumbuh dan menggunakan energi dengan memetabolisis bahan organik dalam lingkungan anaerob dan menghasilkan metana.

Terdapat 4 tahap proses transformasi bahan organik pada sistem anaerobik, yaitu:

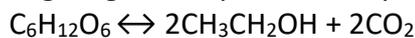
(1) Hidrolisis

Pada tahap awal ini, bahan organik kompleks akan dicerna menjadi bagian-bagian kecil yang mudah larut atau *soluble monomers*, dimana protein akan dikonversi menjadi asam amino, lemak menjadi asam lemak, gliserol menjadi asam gliserol, karbohidrat kompleks termasuk ke dalamnya polisakarida, selulosa, lignin, glukosa dan serat. Proses hidrolisis ini di katalis oleh bakteri dengan menggunakan ekstrak enzim dari bakteri yaitu selulase, protease dan lipase. Reaksi dimana bahan organik di hidrolisis menjadi gula sederhana yang dapat digambarkan sebagai berikut:



(2) Asidogenesis

Setelah proses hidrolisis selesai, dilanjutkan dengan fase asidogenesis. Pada proses ini, bakteri asidogenik memproses hasil hidrolisis menjadi rangkaian bahan organik sederhana yang memiliki rantai pendek (*volatile acids*) seperti *propionic, formic, lactic, butyric* dan asam suksinat, (*kethone*) seperti etanol, metanol, gliserol dan aseton, dan (*alcohol*). Pada fase ini keberhasilan bakteri sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, temperatur dan pH. Reaksinya dapat digambarkan sebagai berikut:

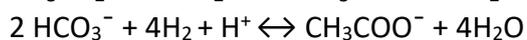
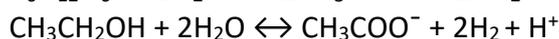


(3) Asetogenesis

Fase asetogenesis BOD (*Biological Oxygen Demand*) dan COD (*Chemical Oxygen Demand*) akan dibentuk pada fase ini. Pada tahap ini, karbohidrat akan difermentasikan, dengan produk utama yang dihasilkan adalah asetat dan hasil proses metabolis lainnya. Hasil yang didapatkan berupa kombinasi dari asetat, CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O. Asam lemak berantai panjang akan dihidrolisis dari *lipids*, kemudian dioksidasi menjadi asetat atau propionat dan hidrogen kedalam bentuk gas. Reaksinya dapat digambarkan sebagai berikut:

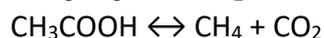
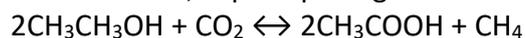


Dan beberapa reaksi penting yang terjadi pada fase asetogenesis yaitu proses perubahan glukosa, etanol dan bikarbonat menjadi asetat



(4) Metanogenesis

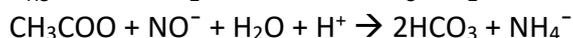
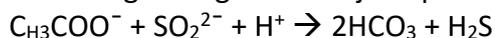
Bakteri anaerobik metanogenesis meliputi tiga (3) bagian, yaitu *pertama*; metanogenesis atau fermentasi metan, prosesnya sama seperti bakteri yang terdapat di dalam rumen herbivora. Bakteri ini akan merubah bahan material mudah larut menjadi metan. *Kedua*; proses perubahan aseta, atau fermentasi alkohol, termasuk metal alkohol, seperti pada gambar reaksi di bawah ini:



Dan yang *ketiga*; hidrogen akan mereduksi karbon dioksida, seperti pada reaksi berikut:



Bakteri metanogen sangat sensitif terhadap perubahan lingkungan. Jika pH nya berada di bawah 6, maka bakteri metanogen tidak dapat bertahan hidup. Metanogenesis memiliki porsi kontrol, karena metanogen memiliki pertumbuhan yang lebih rendah dibanding asidogen. Lebih jauh prosesnya dapat digambarkan sebagai berikut:



Tiga tahap pertama di atas disebut sebagai fermentasi asam sedangkan tahap keempat disebut fermentasi metanogenik [5]. Tahap asetogenesis terkadang ditulis sebagai bagian dari tahap asidogenesis.

Proses perombakan anaerob bahan organik untuk pembentukan biogas dipengaruhi oleh dua faktor yaitu, biotik dan abiotik. Faktor biotik berupa mikroorganisme dan jasad yang aktif di dalam proses ataupun mikroba dan jasad kehidupan diantara komunitas jasad. Faktor abiotik meliputi : substrat; kadar air bahan/substrat; rasio C/N dan P dalam bahan/substrat; suhu; aerasi; kehadiran bahan toksik (unsur beracun); pH dan pengadukan. *Starter* diperlukan untuk mempercepat proses perombakan bahan organik menjadi biogas, bisa digunakan lumpur aktif organik atau cairan isi rumen [19].

Keuntungan pemilihan proses secara anaerobik adalah proses anaerobik tidak membutuhkan energi untuk aerasi, lumpur atau sludge yang dihasilkan sedikit, polutan yang berupa bahan organik hampir semuanya dikonversi ke bentuk biogas (gas metana) yang mempunyai nilai kalor cukup tinggi. Kelemahan proses degradasi ini adalah kemampuan pertumbuhan bakteri metan sangat rendah, membutuhkan waktu dua sampai lima hari untuk pengandaanya, sehingga membutuhkan reaktor yang bervolume cukup besar [20].

Salah satu faktor yang mempengaruhi proses pembentukan biogas adalah suhu operasi. Suhu yang baik untuk proses fermentasi adalah 30-55°C. Pada suhu tersebut mikroorganisme dapat bekerja secara optimal merombak bahan-bahan organik [19]. Suhu optimal kebanyakan mikroorganisme mesofilik dicapai pada 35°C, tetapi untuk mikroorganisme termofilik pada suhu 55°C. Suhu optimal untuk berbagai desain tabung pencerna termasuk Indonesia adalah 35°C [21]. Suhu merupakan faktor penting yang mempengaruhi aktifitas mikroorganisme. Berdasarkan hasil penelitian yang dilaporkan oleh Haryati [22] bahwa suhu yang optimal untuk *biodigester* adalah 30-35°C, kisaran suhu ini mengkombinasikan kondisi terbaik untuk pertumbuhan mikroorganisme dan produksi metana di dalam *biodigester* dengan lama proses yang pendek. Indarto [5] menyebutkan bahwa peningkatan suhu dapat menambah jumlah produksi biogas. Produksi biogas terbanyak pada penelitian tersebut yaitu substrat tanpa perlakuan penambahan urea pada kondisi suhu tinggi (50°C) yaitu 314,58 ml/hari. Hal ini dikarenakan pada suhu tinggi (50°C) substrat akan terdegradasi lebih cepat dan memudahkan difusi bahan terlarut, sehingga pembentukan gas akan lebih cepat pula. Sesuai dengan pernyataan Metcalf dkk. [23] bahwa suhu tinggi digunakan untuk penghancuran cepat dan produksi tinggi ( $\text{m}^3$  gas/ $\text{m}^3$  bahan per hari) serta waktu retensi pendek dan bebas dari desinfektan.

Faktor lain yang mempengaruhi pembentukan biogas adalah tingkat keasaman (pH). Nilai pH pada proses perombakan anaerob biasa berlangsung antara 6,6 - 7,6. Arkhaea metanogen tidak dapat toleran pada pH di luar 6,7 - 7,4; sedangkan mikroorganisme non metanogen mampu hidup pada pH 5 - 8,5 [24]. Karena proses anaerobik terdiri dari dua tahap yaitu tahap pembentukan asam dan tahap pembentukan metana, maka pengaturan pH awal proses sangat penting. Tahap pembentukan asam akan menurunkan pH awal.

Jika penurunan ini cukup besar akan dapat menghambat aktivitas arkhaea penghasil metana. Penambahan kotoran sapi perah (sebagai *starter*) dapat mengubah pH limbah menjadi lebih mendekati netral [2].

Kandungan nutrisi dalam bahan juga merupakan faktor utama juga yang mempengaruhi proses pembentukan biogas. Seperti proses biologi lainnya, dalam proses pembentukan biogas, banyak bakteri yang berperan di dalamnya terutama dalam pembentukan gas metan, karbon dioksida dan gas-gas lainnya. Perbandingan karbon (C) dan nitrogen (N) yang terkandung dalam bahan organik sangat menentukan kehidupan dan aktivitas mikroorganisme juga. Perbandingan C/N yang optimum bagi mikroorganisme perombak adalah 25-30 [18]. Kotoran (feses dan urine) sapi perah mempunyai kandungan C/N sebesar 18 dan berfungsi sebagai *starter*. Karena itu perlu ditambah dengan limbah organik (sebagai substrat) yang mempunyai C/N yang tinggi [25].

### 3. JENIS PENGOLAHAN LIMBAH TEPUNG TAPIOKA DALAM PRODUKSI BIOGAS

#### a. *Digester* Biogas Sistem *Batch*

Indrtono [26] menyarankan agar reaktor biogas dengan jenis *digester* sistem *batch* menggunakan slurry (campuran substrat dan air yang telah dihomogenasikan) dengan kandungan padatan maksimal sekitar 12.5%. Slurry bisa dimasukkan hingga 3/4 volume tangki utama. Volume sisa di bagian atas tangki utama diperlukan sebagai ruang pengumpulan gas. Di dalam reaktor mikroorganisme metanogen mengolah limbah bio atau biomassa dan menghasilkan biogas metan. Pada umumnya, produksi gas metana yang optimum akan terjadi pada 20-30 hari [27]. Hal ini berarti harus diperkirakan bahwa slurry akan berada selama 20-30 hari di dalam reaktor. Tipe *digester* sistem pengisian curah (*batch*) ini cocok digunakan sebagai percobaan di laboratorium. Sistem pengisian curah (SPC) adalah cara penggantian bahan yang dilakukan dengan mengeluarkan sisa bahan yang sudah dicerna dari tangki pencerna setelah produksi biogas berhenti, dan selanjutnya dilakukan pengisian bahan baku yang baru. Sistem ini terdiri dari dua komponen, yaitu tangki pencerna dan tangki pengumpul gas. Untuk memperoleh biogas yang banyak, sistem ini perlu dibuat dalam jumlah yang banyak agar kecukupan dan kontinuitas hasil biogas tercapai [28]. Kelebihan dari sistem *batch* ini adalah risiko yang kecil dari kontaminasi luar karena pemasukan substrat yang tidak dilakukan setiap hari. Namun beberapa kekurangan yang ada yaitu produksi gas yang menurun seiring berjalannya waktu karena ketersediaan substrat dan kemampuan bakteri dalam menguraikan substrat karena kejenuhan yang terjadi dalam *digester* [29].

#### b. *Continuous Stirred Tank Reactors* (CSTR)

Salah satu reaktor dasar adalah sistem CSTR, dimana reaktor berbentuk tangki diisi secara kontinu dan dilengkapi dengan sistem pengadukan. Substrat yang dialirkan ke dalam reaktor mendorong sejumlah substrat yang sama keluar. Pengadukan dapat dilakukan secara terus-menerus atau bisa berkala. Sistem CSTR dapat dilakukan dalam satu tangki, namun bisa juga dalam beberapa tangki secara berseri. Pada proses biogas ada *one stage process* atau *two stage process*. Pada *two stage process* asidifikasi pada reaktor pertama dan pada reaktor kedua terjadi proses pembentukan gas metana (metanogenesis) [30]. Kelebihan dari reaktor ini adalah sistem CSTR memberikan waktu retensi yang cukup baik untuk operasi dan stabilitas proses [31].

c. *Plug Flow Digester*

Ide dasar dari *plug flow digester* adalah sama dengan sistem CSTR, limbah organik dialirkan ke dalam *digester* dan mendorong bahan atau substrat yang berada di dalam reaktor keluar. Material yang dialirkan biasanya cukup kental sehingga tidak terjadi proses pengendapan ke bawah. Sedikit pencampuran terjadi dan sistem *plug flow digester* ini tidak memerlukan pengadukan atau pencampuran secara manual. *Plug flow digester* biasanya berbentuk memanjang dengan panjang sekitar lima kali lebar reaktor [30]. Kelebihan tipe ini adalah lebih praktis, konstruksi lebih mudah, dan biaya murah. Sedangkan kelemahannya, ukuran pipa terbatas dan biasanya tidak begitu besar sehingga tipe ini biasanya dipakai dalam skala kecil [32].

d. *Fixed Bed Reactor (FBR) / Fixed Film Digester*

Reaktor sistem FBR ini terdiri dari tangki anaerobik yang dilengkapi dengan *support material* sebagai tempat melekatnya mikroorganisme. Material lekat dapat berupa kerikil atau plastik atau material yang lain yang gunanya untuk menyediakan luas area yang besar untuk tempat tumbuh bakteri atau mikroorganisme pendegradasi. Semakin luas area lekat, maka semakin cepat proses berlangsung. Keuntungan dari sistem reaktor ini adalah stabilitas biologis karena mikroorganisme yang ada melekat sehingga peluang terjadinya *wash out* lebih kecil. Namun demikian, sistem ini perlu investasi *support media* yang biasanya tidak murah [30].

e. *Fluidized / Expanded Bed Digester*

Pada *fluidized bed digester* dan *expanded bed digester*, mikroorganisme pengurai menempel pada partikel kecil. Partikel-partikel kecil (antrasit, plastik, pasir atau bahan yang lain) tersebut terangkat dan agak mengembang oleh aliran influen ke atas. Dengan sistem ini reaktor masih bisa mengolah bahan padatan tersuspensi yang berukuran kecil, tapi tidak buntu. Pada *expanded bed reactor*, pasir atau material tempat menempel mikroorganisme tersebut akan mengembang sebesar 10% - 20%, sedangkan untuk *fluidized bed reactor* antara 30% - 90%. Resiko terbesar dari sistem FBR ini adalah hilangnya partikel-partikel pembawa tersebut dari reaktor karena perubahan dari berat jenis, debit, dan sebagainya. Pada sistem ini harus dilakukan pengaturan terkait ukuran partikel dan berat jenis dari flok. Oleh karena itu, sistem ini termasuk yang sulit untuk dioperasikan [30]. Sistem ini mempunyai aliran kuat ke atas yang menyebabkan partikel-partikel mengembang sehingga mikroorganisme melakukan kontak dengan substrat [33].

f. *Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB)*

*Digester* pada sistem *Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB)* air limbah masuk ke dalam tangki anaerobik dengan aliran ke arah atas reaktor vertikal yang sudah terdapat *sludge* yang mengandung mikroorganisme atau biasa disebut *sludge bed* atau *blanked*. Sistem UASB sangat menitik beratkan pada pertumbuhan bakteri tersuspensi yang sesuai dengan waktu tinggal atau *hidrolic retention time (HRT)*. Laju beban organik atau *organic load rate (OLR)* harus dijaga untuk memfasilitasi proses granulasi. Dengan sistem ini jumlah mikroorganisme di dalam reaktor cukup tinggi sehingga waktu tinggal (HRT) bisa kecil. Sistem ini tergolong *high rate digester* dan memerlukan volume reaktor yang relatif kecil, namun memerlukan sistem pengendalian proses yang lebih kompleks [30].

#### 4. PERAN *STARTER*-SUBSTRAT DALAM PRODUKSI BIOGAS

*Starter* diperlukan untuk mempercepat proses perombakan bahan organik menjadi biogas, bisa digunakan lumpur aktif organik atau cairan isi rumen [19].

##### a. Kotoran Sapi

Kotoran sapi merupakan *starter* yang baik dalam pembuatan biogas, karena di dalamnya telah mengandung bakteri metanogenik yang dapat menghasilkan gas metana. Kotoran sapi merupakan salah satu contoh medium yang baik untuk pertumbuhan mikroorganisme, hal ini dikarenakan pH-nya yang relatif mendekati netral [2].

Menurut Irawan dan Suwanto [34], substrat dalam kotoran sapi telah mengandung bakteri penghasil gas metana yang terdapat di dalam perut hewan ruminansia. Keberadaan bakteri di dalam usus besar ruminansia tersebut membantu proses fermentasi, oleh karena itu kotoran sapi dapat juga digunakan sebagai pemicu atau stater sehingga proses pembentukan gas bio pada *digester* dapat dilakukan lebih cepat.

##### b. Lumpur Aktif (*Activated Sludge*)

Lumpur aktif adalah flok (kumpulan) mikroba baik yang hidup dan mati dalam air limbah, berupa gumpalan yang dapat menangkap bahan-bahan organik larut/koloid tersuspensi maupun bahan anorganik dalam air limbah [6]. Mikroba dalam lumpur aktif dapat dimanfaatkan sebagai *starter* dalam pembuatan biogas. Lumpur aktif dapat diambil dari IPAL (Instalasi Pengolahan Air Limbah) yang menerapkan pengolahan secara pengendapan atau flokulasi.

##### c. EM4 (*Efective mikroorganisme*)

Irawan dan Suwanto [34] menyatakan *Efective Microoganisme (EM4)* berperan mempercepat degradasi atau fermentasi bahan organik dalam proses pembentukan biogas. Kandungan EM4 terdiri dari bakteri fotosintetik, bakteri asam laktat, actinomicetes, ragi dan jamur fermentasi yang mampu mengaktifkan bakteri pelarut sehingga merangsang pertumbuhan mikroorganisme. Untuk melakukan degradasi senyawa-senyawa organik terutama untuk bahan organik, EM4 ini lebih cepat dari pada yang dilakukan oleh mikro organisme alami yang terdapat dalam bahan organik tersebut. Dalam penambahan EM4 dapat menghasilkan volume biogas yang paling optimum. Hal ini terjadi karena ketersediaan jumlah bahan organik yang didegradasi dalam keadaan seimbang dengan jumlah pertumbuhan mikroorganisme dalam bahan organik.

Konsentrasi limbah juga merupakan faktor yang harus diperhatikan dalam pembuatan biogas. Konsentrasi substrat dapat mempengaruhi prinsip kerja mikroorganisme. Kondisi yang optimum dicapai jika jumlah mikroorganisme sebanding dengan konsentrasi substrat [35].

Irawan dan Santoso [36] dalam penelitiannya disebutkan bahwa terdiri dari tiga percobaan dengan *starter* yang berbeda yaitu *starter* EM4 (percobaan I), kotoran sapi (percobaan II), dan campuran EM4 dengan kotoran sapi (percobaan III). Perbandingan *starter* terhadap substrat adalah 1:1. Semakin bertambahnya waktu fermentasi dan jumlah nutrient yang seimbang dengan jumlah mikroba yang ada serta konsentrasi padatan terlarut yang juga seimbang maka tekanan biogas tertinggi pada percobaan I yaitu pada lima hari keempat sebesar 107460,2 N/m<sup>2</sup>. Justru pada percobaan ke II tekanan biogas tertinggi pada lima hari keempat sebesar 103877,6 N/m<sup>2</sup> lebih kecil dibandingkan pada percobaan I diduga karena jumlah mikroba tidak seimbang dengan nutrient yang sedikit. Berbeda dengan percobaan III, dalam hal ini diakibatkan jumlah mikroba yang tidak seimbang melebihi ketersediaan nutrient yang lebih sedikit dan juga padatan terlarutnya cukup rendah sehingga berkembang biakan

mikroba menurun yang mengakibatkan tekanan biogas rendah. Berdasarkan hasil penelitian total massa biogas yang paling banyak dihasilkan adalah pada percobaan 1 yaitu dengan *starter* EM4 sebesar 0,379034 kg.

Hafsah dkk. [11] menyebutkan bahwa jumlah *starter* yang lebih banyak mampu menghasilkan mendegradasi substrat limbah menjadi gas metana. Pada percobaan tersebut terdapat perbedaan rasio *starter*/substrat yaitu 2:10; 4:10; 6:10. Volume biogas tertinggi terdapat pada perlakuan dengan perbandingan volume *starter* dengan substrat 4:10 menghasilkan volume biogas sebanyak 666 ml. Akan tetapi pada perlakuan perbandingan komposisi 6:10 dengan jumlah *starter* paling banyak daripada perlakuan yang lain tidak mampu menghasilkan volume biogas yang lebih banyak, hal ini dikarenakan jumlah mikroorganisme tidak sebanding dengan konsentrasi substrat untuk diubah menjadi produk. Gas metana yang dihasilkan paling optimal adalah dengan perbandingan komposisi *starter* paling banyak yaitu 6:10. Hal ini dapat dilihat semakin banyak volume *starter* kotoran sapi yang digunakan maka pembentukan gas metana semakin cepat dan gas metana yang dihasilkan lebih maksimal. Penjelasan ini diperkuat oleh Wati dan Sugito [37] menyatakan bahwa dalam kotoran sapi telah mengandung bakteri penghasil gas metana, sehingga semakin banyak *starter* kotoran sapi yang digunakan maka jumlah bakteri metanogennya semakin banyak.

Novita dkk. [38] dalam penelitiannya terdapat perbedaan rasio *starter*/substrat dalam *batch feeding* untuk produksi biogas. Perbandingannya antara lain, 1:1; 3:1; 3,7:0,3; 3,6:0,4. Substrat dalam penelitian ini adalah limbah cair kopi dan *starter* yang digunakan adalah kotoran sapi. Berdasarkan hasil penelitian volume biogas tertinggi pada *batch feeding* perbandingan 1:1 sebesar 250 mL dikarenakan sebelumnya sudah terdapat *starter* yang sudah mengalami fase adaptasi sehingga dapat mempercepat siklus hidup mikroorganisme pada fase ini dan komposisi antara *starter* dan substrat seimbang.

*Starter* memiliki peran penting dalam produksi biogas karena untuk mempercepat proses fermentasi. Maka diperlukan penelitian tentang pengaruh rasio *starter*/substrat. Jika direncanakan rasio yang akan dipakai adalah 4:10 seperti penelitian di atas, maka kemungkinan terjadinya produksi biogas bisa optimal karena rasio tersebut sudah dibuktikan bahwa konsentrasi rasio *starter*/substrat tersebut sebanding. Dari yang sudah dijelaskan rasio yang dapat menghasilkan biogas terbanyak adalah yang memiliki perbandingan antara *starter* dengan substrat seimbang. Mikroorganisme yang ada harus sebanding dengan substratnya agar dapat menghasilkan biogas secara optimal. Tetapi untuk produksi gas metan dapat diproduksi pada komposisi *starter* kotoran sapi terbanyak karena kotoran sapi mengandung metanogen.

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan di atas yang sudah dijelaskan peranan *starter*-substrat sangat penting. Hasil review menunjukkan rasio *starter*/substrat 4:10 dengan menggunakan *starter* kotoran sapi menghasilkan biogas yang maksimal sebanyak 666 ml. Metode pengolahan limbah cair tepung tapioka yang efektif dalam skala laboratorium menggunakan metode *batch*.

### 5.2 Saran

Berdasarkan studi literature ini terdapat beberapa saran untuk penelitian sejenis. Adapun beberapa hal yang dapat dijadikan saran yaitu (1) Suhu optimal yang digunakan untuk produksi biogas adalah 30-35°C. (2) Nilai pH pada proses pembuatan biogas berlangsung antara 6,6 - 7,6 (pH netral). (3) Konsentrasi *starter* juga merupakan faktor penting untuk memproduksi biogas, harus disesuaikan dengan konsentrasi substrat. (4) Nilai optimal rasio C/N adalah 25-30, maka perlu dilakukan pengukuran rasio C/N pada substrat.

## REFERENSI

- [1] Tarwiyah, K., 2001, *Teknologi Tepat Guna Agroindustri Kecil Sumatera Barat*, Dewan Ilmu Pengetahuan, Teknol. dan Ind. Sumatera B.
- [2] Vegantara, D. A., 2009, *Pengolahan Limbah Cair Tapioka menggunakan Kotoran Sapi Perah dengan Sistem Anaerobik*, Fakultas Peternakan Institut Pertanian Bogor, 1-31.
- [3] Isdiyanto, R., Hasanudin, U., 2018, *Rekayasa dan Uji Kinerja Reaktor Biogas Sistem Colar pada Pengolahan Limbah Cair Industri Tapioka*, Ketenagalistrikan dan Energi Terbarukan, vol. 9, no. 1, 14–26.
- [4] Robby Rahmatul, Nurrokhim, A., Suwarno, N., Nurkhamidah, S., 2013, *Produksi Biogas dari Limbah Cair Industri Tepung Tapioka dengan Reaktor Anaerobik 3.000 Liter Berdistributor*, J. Tek. Pomits, vol. 2, no. 1, 1–5.
- [5] Indarto, K. E., *Produksi Biogas Limbah Cair Industri Tapioka melalui Peningkatan Suhu dan Penambahan Urea pada Perombakan Anaerob*, 2010, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sebelas Maret, 1–69.
- [6] Santoso, B., *Proses Pengolahan Air Buangan Industri Tapioka*, 2010, J. Ilm. Teknol., vol. 15, no. 3, 13–220.
- [7] Siska, P. M., 2018, *Kinerja Pengolahan Limbah Effluent Biogas dari Limbah Cair Industri Tapioka dengan Kolam Eceng Gondok (Eichornia Crassipes (Mart) Solms) di Pd. Semangat Jaya – Lampung Selatan*, Fakultas Pertanian Universitas Lampung, 160–164.
- [8] Hanifah, T. A., Jose, C., Nugroho, T. T., 2001, *Pengolahan Limbah Cair Tapioka dengan Teknologi EM (Effective Mikroorganisms)*, J. Natur Indones., vol. 3, no. 2, 95–103.
- [9] Tanata, S., Gunawan, M. R., Setiaty, P., 2013, *Pengaruh Komposisi Campuran Limbah Padat dan Cair Industri Tapioka terhadap Persentase Penyisihan Total Suspended Solid (TSS) dengan Starter Kotoran Sapi*, J. Tek. Kim. USU, 1–4.

- [10] Wintolo, M., Isdiyanto, R., 2011, *Prospek Pemanfaatan Biogas dari Pengolahan Air Limbah*, Ketenagalistrikan dan Energi Terbarukan, vol. 10, no. 2, 103–112.
- [11] Hafsah, D. S., Z, D. A. F., Prayitno, 2019, *Pengaruh Rasio Starter terhadap Substrat dalam Produksi Biogas*, Distilat J. Teknol. Separasi, vol. 5, no. 2, 29–34.
- [12] Nejat Veziroğlu, T., 1987, *Hydrogen Technology for Energy Needs of Human Settlements*, Int. J. Hydrogen Energy, vol. 12, no. 2, 99–129.
- [13] Werner, U., Stöhr, U., Hees, N., 1989, *Biogas Plants in Animal Husbandry*, A Publ. Dtsch. Zent. für Entwicklungstechnologien, 1–55.
- [14] Hammad, S. M., 1996, *Integrated Environmental and Sanitary engineering Project at Mirzapur*, JOURNAL-INDIAN WATERWORKS Assoc., vol. 28, 231–236.
- [15] Hessami, M. -A., Christensen, S., Gani, R., 1996, *Anaerobic Digestion of Household Organic Waste to Produce Biogas*, Renew. Energy, vol. 9, no. 1–4, 954–957.
- [16] Nurhasanah, A., Widodo, T. W., Asari, A., Rahmarestia, E., 2006, *Perkembangan Digester Biogas di Indonesia (Studi Kasus di Jawa Barat dan Jawa Tengah)*, Serpong Balai Besar Pengemb. Mek. Pertanian.
- [17] Harahap, F. M., Apandi, S. G., 1978, *Teknologi Gasbio. Bandung : Treatment*, J. Anim. Sci., vol. 12, no. 4, 604–606.
- [18] Harahap, I. V., 2007, *Uji Beda Komposisi Campuran Kotoran Sapi dengan Beberapa Jenis Limbah Pertanian Terhadap Biogas yang Dihasilkan*, Fakultas Pertanian Universitas Sumatera Utara, 1–66.
- [19] Ginting, N., 2007, *Teknologi Pengolahan Limbah Peternakan*, Fakultas Pertanian Universitas Sumatera Utara, 1–18.
- [20] Mahajoeno, E., Lay, B. W., Sutjahjo, S. H., Siswanto, 2008, *The Possibility of Palm Oil Mill Effluent for Biogas Production*, Biodiversitas, J. Biol. Divers., vol. 9, no. 1, 48–52.
- [21] Sahirman, S., 1994, *Kajian Pemanfaatan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit untuk Memproduksi Gasbio*, Progr. Pascasarj. IPB Bogor.
- [22] Haryati, T., 2006, *Biogas: Limbah Peternakan yang Menjadi Sumber Energi Alternatif*, J. War., vol. 16, no. 3, 160–169.
- [23] Metcalf, L., Eddy, H. P., Tchobanoglous, G., 1979, *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, and Reuse (Vol. 4)*, New York McGraw-Hill.
- [24] [NAS] National Academy of Sciences, 1981, *Methane Generation from Human, Animal, and Agricultural Wastes. 2nd Ed*, Natl. Acad. Sci. Washington, D.C.
- [25] Simamora, S., Salundik, S.W., *Membuat Biogas; Pengganti Bahan Bakar Minyak & Gas dari Kotoran Ternak*, AgroMedia.
- [26] Indrtono, Y.S., 2008, *Reaktor Biogas Skala Kecil/Menengah (Bagian Kedua)*, Artikel Iptek-Bidang Energi dan Sumber Daya Alam.
- [27] Garcelon J., Clark, J., 2005, *Waste Digester Design*, Civ. Eng. Lab. Agenda, Univ. Florida.
- [28] Widodo, T.W., Hendriadi, A., 2005, *Development of Biogas Processing for Small Scale Cattle Farm in Indonesia*, 1–7.
- [29] Lestari, D. F., Kawaroe, M., Salundik, 2015, *Produksi Biogas dari Makroalga Merah (Gracilaria Verrucosa) pada Sistem Batch*, J. Teknol. Perikan. dan Kelaut., vol. 6, no. 2, 179–186.
- [30] Kholiq, M. A., 2017, *Mengenal Tipe-Tipe Reaktor Biogas*, 1–7.

- [31] Muhaemin, A. A., *Studi Pemilihan Kinetika Reaksi Produksi Biogas dari Air Limbah Pabrik Kelapa Sawit untuk Scale Up Completely Stirred Tank Bioreactor*, Program Pascasarjana Teknologi Industri Pertanian Universitas Lampung, 1–65.
- [32] Pertiwiningrum, A., 2015, *Instalasi Biogas*, Fakultas Peternakan Universitas Gadjah Mada.
- [33] Rahayu, A. S., Karsiwulan, D., Yuwono, H., Trisnawati, I., Mulyasari, S., Rahardjo, S., Hokermin, S., Paramita, V., 2015, *Buku Panduan Konversi POME Menjadi Biogas Pengembangan Proyek di Indonesia*, Winrock International.
- [34] Irawan, D., Suwanto, E., 2016, *Pengaruh Em4 (Effective Microorganism) terhadap Produksi Biogas menggunakan Bahan Baku Kotoran Sapi*, Turbo J. Progr. Stud. Tek. Mesin, vol. 5, no. 1, 44–49.
- [35] Manurung, R., 2004, *Proses Anaerobik sebagai Alternatif untuk Mengolah Limbah Sawit*, 1–9.
- [36] Irawan D., Santoso, T., 2014, *Pengaruh Perbedaan Stater Terhadap Produksi Biogas dengan Bahan Baku Eceng Gondok*, Turbo J. Progr. Stud. Tek. Mesin, vol. 3, no. 2, 28–33.
- [37] Wati, D. A. T., Sugito, 2013, *Pembuatan Biogas dari Limbah Cair Pabrik Tahu dengan Tinja Sapi*, J. Tek. Waktu, vol. 11, no. 02, 55–61.
- [38] Novita, E., Wahyuningsih, S., Pradana, H.A., 2018, *Variasi Komposisi Input Proses Anaerobik untuk Produksi Biogas pada Penanganan Limbah Cair Kopi*, J. Agroteknologi, vol. 12, no. 01, 43.