

LIMBAH TAPIOKA UNTUK PRODUKSI BIOGAS: ALTERNATIF PENGOLAHAN DAN PENGARUH KONSENTRASI SUBSTRAT

Dinda Gusti Sensih, Prayitno

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang, Indonesia
dindasensi08@gmail.com, [prayitno_polmal@yahoo.com]

ABSTRAK

Limbah cair industri tepung tapioka mengandung bahan-bahan organik dengan konsentrasi yang tinggi yaitu COD sekitar 7.000 - 30.000 mg/L dan BOD sekitar 3000-6000 mg/L sehingga memiliki potensi untuk digunakan sebagai bahan baku pembuatan biogas. Dengan menggunakan fermentasi secara anaerobik di dalam reaktor (digester), limbah cair industri tapioka mengalami proses dekomposisi menjadi biogas oleh mikroorganisme anaerob. Beberapa teknologi pengolahan limbah cair tapioka menjadi biogas antara lain, digester sistem *batch*, *covered lagoon anaerobic reactor (CoLAR)*, *Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)*, CSTR dengan Resirkulasi Padatan, *Plug Flow Reactor*, FBR (*Fixed Bed Reactor*), *Expanded Bed Digester*, dan UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*). Untuk meningkatkan efisiensi pengolahan terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi, antara lain: pemilihan starter, konsentrasi awal substrat, suhu operasi, tingkat keasaman (pH) dan rasio perbandingan C/N. Beberapa studi menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi awal substrat maka semakin tinggi kualitas dan kuantitas biogas yang dihasilkan. Berdasarkan hasil kajian menunjukkan bahwa metode *covered lagoon anaerobic reactor (CoLAR)* memiliki efektifitas yang tinggi untuk menghasilkan biogas dari limbah tapioka. Pada konsentrasi awal substrat sebesar 9.011 mg/L mampu menghasilkan biogas mencapai 485,4 m³/hari.

Kata kunci: *Biogas, Konsentrasi Awal Substrat, Limbah Cair Tepung Tapioka*

ABSTRACT

Tapioca flour industry liquid waste contains organic materials with a high concentration of COD around 7,000 - 30,000 mg / L and BOD around 3000-6000 mg / L so it has the potential to be used as raw material for biogas production. By using anaerobic fermentation in a reactor (digester), tapioca industrial wastewater undergoes a process of decomposition into biogas by anaerobic microorganisms. Some tapioca wastewater treatment technologies into biogas include, batch system digesters, covered lagoon anaerobic reactors (CoLAR), Continuous Stirred Tank Reactors (CSTR), CSTR with Solid Recirculation, Plug Flow Reactors, FBR (Fixed Bed Reactors), Expanded Bed Digester, and UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket). To improve processing efficiency there are several factors that influence, including: selection of starter, initial substrate concentration, operating temperature, acidity (pH) and C/N ratio. Several studies have shown that the higher the initial concentration of the substrate, the higher the quality and quantity of biogas produced. Based on the results of the study shows that the method of covered lagoon anaerobic reactor (CoLAR) has a high effectiveness to produce biogas from tapioca waste. At the initial substrate concentration of 9,011 mg / L, biogas was able to produce 485.4 m³ / day.

Keywords: *Biogas, Concentration Of Substrate, 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 (*Manihot utilisima*) yang diolah menjadi tepung tapioka. Tepung tapioka merupakan bahan baku atau bahan pembantu untuk keperluan industri makanan, tekstil, kertas dan lain-lain [1]. Indonesia adalah produsen

tepung tapioka nomor dua di Asia setelah Thailand. Produksi rata-rata tepung tapioka Indonesia mencapai 15–16 juta ton per tahun [2].

Limbah cair industri tepung tapioka adalah limbah yang dihasilkan dari proses produksi tepung tapioka. Limbah cair tersebut berasal dari proses pencucian, ekstraksi dan pengendapan. Pada proses produksi 1 ton tepung tapioka menghasilkan limbah cair sebanyak 12 m³ atau setara dengan 12.000 liter [3].

Karakteristik limbah cair industri tapioka yaitu berwarna putih kekuning-kuningan apabila masih baru, sedangkan limbah yang sudah busuk berwarna abu-abu gelap. Limbah industri tapioka juga menimbulkan bau yang tidak sedap dan keruh. Keckeruhan ini terjadi karena zat organik terlarut yang sudah terpecah atau zat-zat tersuspensi dari pati, sehingga air limbah berubah menjadi emulsi keruh. Jumlah zat organik yang terlarut dalam limbah cair tapioka dapat diketahui dengan melihat nilai BOD (*Biological Oxygen Demand*). Angka BOD menunjukkan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk keperluan aktivitas mikroba dalam memecah zat organik secara biologis di dalam limbah cair. Tingkat keasaman (pH) limbah cair tapioka dipengaruhi oleh kegiatan mikroba dalam pemecahan bahan organik. Air buangan cenderung asam, dan pada keadaan asam ini terlepas zat-zat yang mudah menjadi gas. Limbah tepung tapioka juga mengandung sianida yang berasal dari singkong [4].

Limbah cair industri tepung tapioka memiliki kandungan bahan organik diantaranya glukosa sebesar 21,067%, karbohidrat sebesar 18,9 % dan vitamin C sebesar 51,040% [5]. Sedangkan kandungan *Chemical Oxygen Demand* (COD) dari beberapa penelitian yaitu sebesar 9.011 mg/L [6], 1.822 mg/L [7], 3200 mg/L [8] bahkan dapat mencapai COD 18.000 mg/L hingga 25.000 mg/L [9].

Limbah cair industri tepung tapioka memiliki potensi untuk dijadikan biogas. Pengolahan limbah cair industri tepung tapioka dengan kapasitas 150 m³ mampu menghasilkan biogas sebanyak 485,4 m³, serta setiap 1 m³ limbah dapat menghasilkan 1,88 m³ gas metana [10]. Potensi produksi biogas dari pemanfaatan limbah cair adalah sebesar 265.747,6 m³/tahun [11]. Dalam 20 liter limbah cair tapioka mampu menghasilkan 35,4 liter biogas per 30 hari atau 1,77 liter biogas per hari [8].

Pemanfaatan limbah cair dari industri tepung tapioka menjadi biogas akan mengurangi dampak buruk yaitu, bahan – bahan pencemar dalam limbah cair dapat menyebabkan perubahan rasa dan bau yang tidak sedap, menimbulkan penyakit, mengurangi estetika sungai dan menurunkan kualitas air sumur di sekitar pabrik tepung tapioka. Selain itu limbah cair tepung tapioka adalah sumber pencemaran lingkungan perairan apabila tidak diolah secara baik dan benar [12]. Pencemaran yang terjadi secara terus menerus juga akan mengakibatkan kematian organisme yang ada di dalam air [13] sehingga perlunya dilakukan kajian tentang alternatif pengolahan limbah cair industri tepung tapioka dan pengaruh konsentrasi substrat dengan harapan pengolahan limbah cair tepung dapat dilakukan dengan baik sebagai bahan baku biogas dan dapat mengurangi dampak buruk tersebut.

2. METODE PENGOLAHAN LIMBAH CAIR TEPUNG TAPIOKA UNTUK PRODUKSI BIOGAS

Biogas merupakan gas mudah terbakar yang dihasilkan dari proses fermentasi bahan-bahan organik oleh bakteri anaerob. Prinsip pembuatan biogas adalah adanya dekomposisi bahan organik secara anaerobik (tertutup dari udara bebas) untuk menghasilkan gas yang sebagian besar berupa gas metana (CH₄) dan karbondioksida (CO₂). Proses dekomposisi anaerobik dibantu oleh sejumlah mikroorganisme, terutama bakteri penghasil metana [14].

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 metana sangat rendah, membutuhkan waktu dua sampai lima hari untuk penggandaannya, sehingga membutuhkan reaktor yang bervolume cukup besar. Biogas mengandung gas metana, gas metana ini dapat dikonversi menjadi energi listrik dengan menggunakan turbin gas atau dapat langsung digunakan untuk pembakaran [7].

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 dalam bahan/substrat; suhu; aerasi; kehadiran bahan toksik (unsur beracun); dan pH [6]

Salah satu faktor yang mempengaruhi proses pembentukan biogas adalah suhu operasi. Suhu yang baik untuk proses fermentasi adalah 30-35°C. Pada suhu tersebut mikroorganisme dapat bekerja secara optimal merombak bahan-bahan organik [13]. Namun pada penelitian lain dapat diketahui bahwa substrat hasil biogas terbaik didapat pada kondisi suhu tinggi (50°C) 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 [1].

Faktor lain yang mempengaruhi pembentukan biogas adalah tingkat keasaman (pH). Bakteri penghasil metana sangat sensitif terhadap perubahan pH. Rentang pH optimum untuk jenis bakteri penghasil metana antara 6,4 - 7,4. Salah satu karakteristik limbah cair tapioka diantaranya adalah memiliki nilai pH yang kecil atau rendah. Namun setelah substrat ditambahkan dengan kotoran sapi perah, pH limbah cair tapioka semakin menuju kondisi netral. Semakin besar persentase penambahan kotoran sapi perah maka nilai pH yang dihasilkan semakin mendekati netral [7]. Sedangkan pada penelitian lain limbah dinetralkan dengan penambahan NaOH hingga mencapai pH 7 [15].

Faktor lain yang berpengaruh yaitu rasio C/N yang merupakan unsur karbon dari bahan organik (dalam bentuk karbohidrat) dan nitrogen (sebagai nitrat, ammonia, protein dan sebagainya) karena merupakan makanan pokok bagi bakteri anaerobik. Rasio C/N bahan organik sangat menentukan produksi biogas. Untuk mensiasati agar kandungan C/N rasio berada dalam kondisi normal yaitu sebesar 20 – 30 : 1, maka dilakukanlah penambahan kotoran ternak, dan selain itu juga kotoran ternak digunakan sebagai sumber mikroba. Rasio antara karbon dan nitrogen merupakan nutrisi yang paling penting dalam proses pembentukan biogas, dimana rasio yang paling baik adalah rasio C/N 20 – 30 : 1 [7].

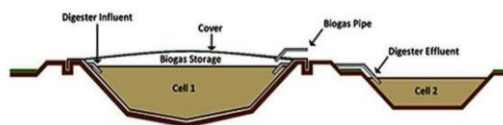
Prinsip kerja dari semua tipe reaktor biogas kurang lebih sama, yaitu menciptakan kondisi anaerobik (kedap udara) dengan mempertimbangkan kemudahan sistem inlet dan outlet bahan baku dan kecukupan mikroorganisme di dalam reaktor. Untuk mewujudkan hal tersebut ada beberapa desain atau tipe reaktor biogas. Semua tipe reaktor biogas didesain untuk memastikan adanya kontak yang cukup intens antara substrat/bahan organik dengan mikroorganisme pendegradasi dan menghindari potensi kehilangan mikroorganisme (*washing out*) di dalam reaktor [16]. Berikut adalah beberapa desain reaktor atau digester biogas:

a) *Digester Sistem Batch*

Sistem pengisian curah/*batch* adalah cara penggantian bahan yang dilakukan dengan mengeluarkan sisa bahan yang sudah dicerna dari digester setelah produksi biogas berhenti yang 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. Pada umumnya, produksi gas metana yang optimum akan terjadi pada 20-30 hari. Hal ini berarti harus diperkirakan bahwa slurry akan berada selama 20-30 hari di dalam reaktor. Kelebihan dari sistem ini adalah konstruksinya sederhana dan cocok digunakan sebagai percobaan di laboratorium. Kekurangannya apabila diaplikasikan untuk kebutuhan energi sehari-hari akan membutuhkan beberapa rangkaian agar gas yang dihasilkan dapat digunakan secara kontinu. Dengan kapasitas digester sistem *batch* 200 liter dapat menghasilkan biogas sebanyak 2,721 m³ [17].

b) *Covered Lagoon*

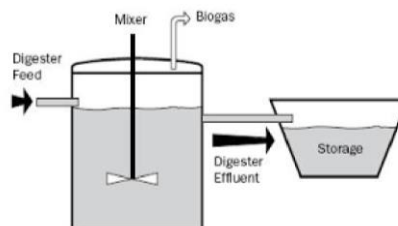
Prinsip dari sistem *covered lagoon* adalah dengan menutup kolam dengan bahan penutup yang kedap gas untuk menangkap biogas yang terbentuk di dalam kolam. *Covered lagoon* biasanya terdiri dari dua kolam, kolam pertama ditutup bahan penutup yang kedap, dan kolam kedua terbuka untuk proses lanjut. Kelebihan dari sistem ini adalah kemudahan dalam konstruksi, pengoperasian, dan perawatan, namun kekurangannya yaitu membutuhkan lahan yang luas dan memiliki keterbatasan proses.



Gambar 1. Prinsip Desain *Covered Lagoon* [16]

c) *Continuous Stirred Tank Reactors (CSTR)*

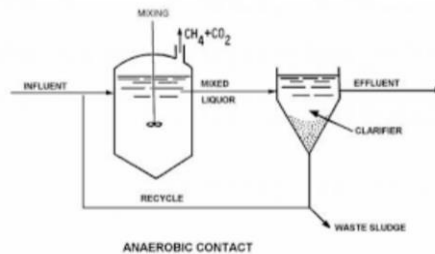
Salah satu reaktor dasar adalah sistem CSTR, dimana reaktor berbentuk tangki diisi secara kontinu dan dilengkapi dengan sistem pengadukan. Substrat yang dialirkan ke dalam reaktor mendorong sejumlah substrat yang sama keluar. Pengadukan dapat dilakukan secara terus-menerus atau bisa berkala. Sistem CSTR 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). Keuntungan dari fermentasi dengan proses pengadukan adalah campuran substrat menjadi homogen apabila tidak diaduk sludge akan mengendap pada dasar wadah dan terbentuk busa pada permukaan reaktor. Kelemahan dari metode ini adalah memerlukan daya tambahan untuk menggerakkan pengaduk dan menjaga stabilitas.



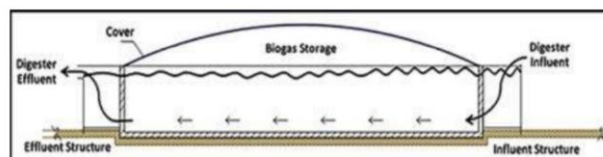
Gambar 2. Prinsip Desain CSTR [16]

d) CSTR dengan Resirkulasi Padatan

Hal utama yang berperan dalam proses anaerobik adalah konsorsium mikroorganisme yang bekerja sama dalam beberapa tahapan proses mulai hidrolisis, asidifikasi, acetogenesis dan metanogenesis. Semakin lengkap dan semakin banyak jumlah mikroorganisme, maka proses penguraian bahan organik yang terkandung di dalam limbah bisa lebih cepat. Proses penguraian lebih cepat berarti waktu tinggal lebih kecil, sehingga bisa menghemat biaya investasi. Salah satu cara mempertahankan mikroorganisme aktif tersebut adalah dengan meresirkulasi mikroorganisme aktif tersebut kembali ke reaktor setelah melalui proses pengendapan di *clarifier*. Sistem ini biasa disebut sebagai *contact stabilization digester* atau *anaerobic contact digester*.

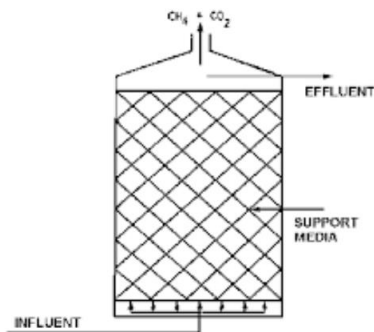
**Gambar 3.** Skema CSTR dengan Resirkulasi Padatan [16]e) *Plug Flow Digester*

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. Kelebihan dari *plug flow digester* adalah dibangun dari bahan murah, dan beroperasi dengan cara sederhana karena tidak membutuhkan agitasi. Namun kelemahannya adalah sulitnya menstabilisasi mikroorganisme saat proses berlangsung [18].

**Gambar 4.** Skema *Plug Flow Digester*. [16]f) *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

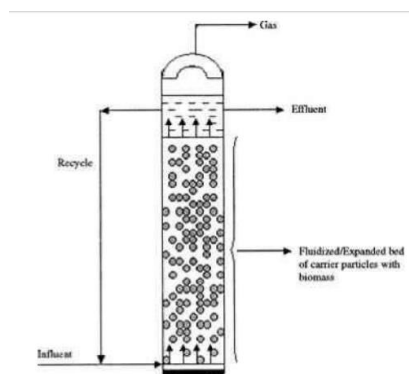
semakin cepat proses berlangsung. Keuntungan dari sistem reaktor ini adalah stabilitas biologis karena mikroorganisme yang ada melekat sehingga peluang terjadinya *wash out* lebih kecil. Namun demikian, sistem ini perlu investasi *support media* yang tidak murah. Kelemahan dari reaktor ini adalah untuk mencapai efisiensi lebih dari 80% dibutuhkan volume reaktor yang cukup besar (35 m^3) dengan hasil produksi biogas mencapai $35,16 \text{ m}^3$ [19].



Gambar 5. Skema Fixed Bed Digester [16]

g) *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. Kelemahan dari sistem ini harus dilakukan pengaturan terkait ukuran partikel dan berat jenis dari flok. Oleh karena itu, sistem ini termasuk yang sulit untuk dioperasikan.

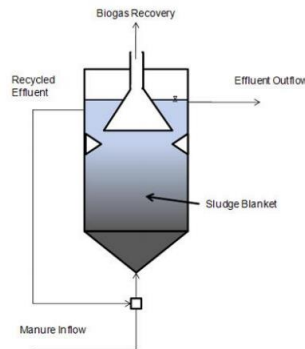


Gambar 6. Skema Fluidized Bed Digester [16]

h) *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 *blanket*. 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. Kekurangan reaktor ini adalah membutuhkan waktu sekitar 3 bulan untuk terbentuknya lapisan film/selimut. Dengan reaktor UASB berkapasitas 35 liter dapat menghasilkan biogas sebesar 22,8-26,4 liter [20].



Gambar 7. Skema *Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) Digester* [16]

Tabel 1. Perbandingan beberapa jenis proses pengolahan limbah tapioka menjadi biogas.

No.	Sumber Rujukan	Jenis Proses	Hasil
1.	Isdiyanto (2010) [10]	<i>Covered Lagoon Anaerobic Reactor (CoLAR)</i> dengan kapasitas 3600 m ² .	Rata-rata produksi biogas harian sebesar 485,4 m ³ /hari
2.	Rahmatul (2013) [15]	Reaktor Anaerobik berdistributor dengan kapasitas 3000 liter.	Pada load COD masuk sebesar 10.000 mg/L menghasilkan biogas 0.217 m ³ /kgCOD removal
3.	Kurniawan (2009) [7]	Digester batch kapasitas 22 liter skala laboratorium.	Hasil terbaik pada perbandingan kotoran sapi : limbah tapioka sebesar 60:40 menghasilkan biogas sebanyak 576 L/kg
4.	Indarto (2010) [1]	Digester sistem batch kapasitas 5 liter dengan penambahan urea dan suhu tinggi	Hasil terbaik pada substrat tanpa penambahan urea pada kondisi suhu tinggi (50°C) yaitu 2,08 L
5.	Vegantara (2009) [21]	Digester batch kapasitas 20 liter skala laboratorium	(tidak disebutkan berapa banyak biogas yang dihasilkan)

Menurut Tabel 1 pada proses dengan menggunakan *Covered Lagoon Anaerobic Reactor (CoLAR)* [10] dengan kapasitas 3600 m² dapat menghasilkan biogas rata-rata sebesar 485,4 m³ /hari atau setiap m³ limbah menghasilkan biogas sekitar 3,2 m³. Selain itu berdasarkan hasil uji laboratorium terhadap komposisi biogas diperoleh rata-rata konsentrasi metana sebesar 58,8 % dengan sebaran antara 54 % - 62 % dan juga terdeteksi pula gas karbondioksida (CO₂) dengan rata-rata konsentrasi sebesar 30.2 %. Apabila dibandingkan

dengan proses reaktor anaerobik berdistributor berkapasitas 3000 liter biogas yang paling besar dihasilkan hanya sebesar $0.217 \text{ m}^3 / \text{kgCOD removal}$ [15].

Penelitian lain dilakukan dalam skala laboratorium dengan kapasitas yang lebih kecil. Percobaan yang dilakukan oleh Indarto [1] dengan biodigester sistem batch dengan kapasitas 5 liter dengan penambahan urea sebagai starter dan peningkatan suhu. Total hasil produksi biogas terbanyak pada substrat tanpa perlakuan penambahan urea pada suhu tinggi (50°C) yaitu sebesar 2,08 liter dengan total biogas yang dihasilkan sampai percobaan selesai mencapai 14,158 liter. Peningkatan suhu dapat mempercepat proses produksi biogas karena pada suhu tinggi (50°C) substrat akan terdegradasi lebih cepat dan memudahkan difusi bahan terlarut, sehingga pembentukan gas akan lebih cepat.

Percobaan lain juga dilakukan Kurniawan [7] dengan digester sistem batch berkapasitas 22 liter menghasilkan biogas terbaik pada penambahan kotoran sapi sebagai starter dengan perbandingan kotoran sapi:limbah tapioka 60:40 menghasilkan biogas sebanyak 576 L/kg. Selain itu Vergantara [21] juga melakukan percobaan dengan penambahan kotoran sapi perah sebagai starter dan dapat diketahui bahwa penambahan kotoran sapi perah pada limbah cair tapioka berpengaruh pada nilai pH, COD dan TS. Semakin besar persentase penambahan kotoran sapi perah maka nilai pH yang dihasilkan semakin mendekati netral. Penambahan kotoran sapi perah ke dalam limbah cair tapioka akan meningkatkan nilai COD dan TS, karena di dalam kotoran sapi perah juga mengandung bahan-bahan organik yang sulit dirombak oleh mikroorganisme sehingga dapat memperbesar kadar COD dan dalam kotoran sapi juga terdapat padatan baik yang terlarut maupun yang tidak terlarut sehingga meningkatkan nilai TS.

Dari hasil penelitian tersebut dapat diketahui bahwa metode yang terbaik untuk produksi biogas dari limbah tapioka menggunakan metode *Covered Lagoon Anaerobic Reactor (CoLAR)* karena dapat menghasilkan biogas yang maksimal. Metode ini juga memiliki beberapa kelebihan yaitu dari segi konstruksi apabila suatu pabrik sudah memiliki IPAL (Instalasi Pengolahan Air Limbah) yang berupa kolam terbuka (*lagooning*) hanya perlu memodifikasi lagooning tersebut menjadi digester sistem CoLAR sehingga investasi yang dikeluarkan lebih sedikit daripada membuat reaktor baru. Selain itu digester CoLAR juga memiliki kelebihan yaitu daya tampung limbah yang besar hingga ribuan meter kubik, kemudahan dalam pembuatan konstruksi, biaya relatif murah, mudah perawatannya, serta mudah pengoperasiannya.

3. PERAN KONSENTRASI SUBSTRAT DALAM PRODUKSI BIOGAS

Chemical Oxygen Demand (COD) adalah parameter yang digunakan untuk menunjukkan kebutuhan oksigen untuk mengoksidasi bahan-bahan organik dalam air limbah secara kimiawi. Nilai COD selalu lebih besar daripada *Biological Oxygen Demand* (BOD) karena kebanyakan senyawa lebih mudah teroksidasi secara kimia daripada secara biologi. Angka COD adalah jumlah oksigen (mg) yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik yang ada dalam satu liter sampel air, dimana pengoksidasian $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ digunakan sebagai sumber oksigen (*oxidizing agent*). Angka COD merupakan ukuran bagi pencemaran air oleh zat-zat organik yang secara ilmiah dapat dioksidasikan melalui proses mikrobiologis dan mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut di dalam air [22].

Percobaan yang dilakukan Isdiyanto [10] memiliki konsentrasi awal substrat (COD) yang paling besar yaitu 9.011 mg/L dan hasil biogas yang didapatkan juga cenderung tinggi

yaitu sebesar 485,4 m³/hari. Sistem bioreaktor *Cover Lagoon Anaerobic Reactor (CoLAR)* yang diterapkan dapat bekerja dengan baik yang ditandai dengan menurunnya nilai rata-rata *Total Chemical Oxygen Demand (T-COD)* sebesar 70,3%, yaitu dari 9.011 mg/liter turun menjadi 2.680 mg/L.

Tabel 2. Perbandingan beberapa kadar COD awal substrat dalam pengolahan limbah tapioka menjadi biogas.

No.	Sumber Rujukan	Jenis Proses	COD Awal Substrat	Hasil
1.	Isdiyanto (2010) [10]	<i>Covered Lagoon Anaerobic Reactor (CoLAR)</i> dengan kapasitas 3600 m ² .	Rata-rata (T-COD) limbah segar 9.011 mg/L	Rata-rata produksi biogas harian sebesar 485,4 m ³ /hari
2.	Rahmatul (2013) [15]	Reaktor berdistributor dengan kapasitas 3000 liter.	Pada load COD masuk sebesar 10.000 mg/L	Biogas 0.217 m ³ /kgCOD removal
3.	Kurniawan (2009) [7]	Digester batch kapasitas 22 liter skala laboratorium.	7.542 mg/L	Hasil terbaik pada perbandingan kotoran sapi : limbah tapioka sebesar 60:40 menghasilkan biogas sebanyak 576 L/kg
4.	Indarto (2010) [1]	Digester sistem batch kapasitas 5 liter dengan penambahan urea dan suhu tinggi	28.3 g/L	Hasil terbaik pada substrat tanpa penambahan urea pada kondisi suhu tinggi (50°C) yaitu 2,08 L
5.	Vegantara (2009) [21]	Digester batch kapasitas 20 liter skala laboratorium	1.822 mg/L	(tidak disebutkan berapa banyak biogas yang dihasilkan)

Pada percobaan yang dilakukan oleh Kurniawan [7] dilakukan uji korelasi terhadap COD untuk mengetahui apakah terdapat hubungan laju penurunan COD terhadap produksi gas. Dari hasil uji korelasi didapatkan nilai korelasi sebesar 0,016 dengan nilai korelasi yang positif. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat hubungan antara laju penurunan COD dengan produksi gas yang searah, namun memiliki tingkat hubungan yang lemah. Jadi dapat dikatakan bahwa semakin banyak COD yang terdegradasi maka akan semakin banyak biogas yang dihasilkan. Penelitian lain yang dilakukan oleh Rahmatul [15] dengan menggunakan reaktor anaerobik 3.000 liter berdistributor, diketahui data percobaan seperti pada Tabel 3.

Tabel 1. Load, % COD removal, dan produksi gas/kgCOD removal

Load (kgCOD/m ³ .hari)	COD masuk (mg/L)	COD keluar (mg/L)	% removal (%)	Biogas (m ³ /kgCOD removal)
0.4	3000	1832	38,9	0,0977
0,7	5000	2902	42	0,0834
1	7000	3371	51,8	0,19
1,4	10000	5173	48,3	0,217

Sumber: Rahmatul, [15]

Dari data diatas dapat disimpulkan bahwa semakin besar COD yang masuk, maka produksi biogas/kgCOD removal semakin besar pula. Hal ini dikarenakan semakin banyak senyawa organik yang masuk ke dalam reaktor, maka semakin banyak pula bahan yang dapat terkonversi menjadi biogas.

Hasil percobaan dari beberapa sumber tersebut menunjukkan bahwa nilai COD yang terkandung dalam substrat mempengaruhi jumlah produksi biogas. Semakin besar nilai COD maka produksi biogas akan semakin meningkat. Nilai COD juga dapat ditingkatkan dengan penambahan starter kotoran sapi karena di dalam kotoran sapi juga mengandung bahan-bahan organik sehingga dapat memperbesar kadar COD dalam limbah cair tapioka. Namun dalam proses fermentasi anaerobik yang berlangsung nilai COD akan menurun karena terjadi proses degradasi didalam digester.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Limbah cair industri tepung tapioka dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan biogas dimana kuantitas dan kualitas hasil produksi biogas dipengaruhi oleh pemilihan teknologi dalam pembuatannya. Berdasarkan hasil kajian menunjukkan bahwa metode *Cover Lagoon Anaerobic Reactor (CoLAR)* memiliki efektifitas yang tinggi untuk menghasilkan biogas dari limbah tapioka. Nilai COD yang terkandung dalam substrat mempengaruhi jumlah produksi biogas. Semakin besar nilai COD maka produksi biogas akan semakin meningkat. Sedangkan faktor-faktor lain yang mempengaruhi efektifitas produksi biogas adalah suhu operasi, tingkat keasaman (pH), rasio C/N, konsentrasi substrat dimana pada konsentrasi substrat awal sebesar 9.011 mg/L mampu menghasilkan biogas yang maksimal sebesar 485,4 m³/hari.

4.2 Saran

Berdasarkan hasil studi literatur maka direkomendasikan kondisi operasi dengan suhu operasi yang baik berkisar antara 30-50°C, tingkat keasaman (pH) dalam rentan 6,4 -7,4 dan perbandingan C/N kondisi normal yaitu sebesar 20 – 30 : 1. Selain itu pemilihan metode yang direkomendasikan adalah *Covered Lagoon Anaerobic Reactor (CoLAR)* karena memiliki kelebihan yaitu kemudahan dalam kontruksi, pengoperasian, dan perawatan. Jenis starter yang direkomendasikan adalah kotoran sapi segar karena memiliki kandungan bakteri penghasil metana, dapat meningkatkan nilai COD dan dapat menetralkan limbah cair tepung tapioka.

REFERENSI

- [1] Indarto K. E., 2010, *Produksi Biogas Limbah Cair Industri Tapioka Melalui Peningkatan Suhu dan Penambahan Urea pada Perombakan Anaerob*, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- [2] Tarwiyah, K, 2001, *Tapioka*, Dewan Ilmu Pengetahuan, Teknologi dan Industri, Sumatera Barat.
- [3] Azizah R.N., Slamet A., Yuniarto A., 2017, *Evaluasi Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri Tapioka di Kabupaten Lampung Timur*, IPTEK Journal of Proceedings Series, Vol. 3, No. 5, 147–153.
- [4] Fajarudin, 2002, *Pengaruh Jumlah Air Ekstraksi dan Lama Pengendapan Terhadap*

- Karakteristik Limbah Cair Tapioka Pada Sistem Batch*, Skripsi, Universitas Lampung, Bandar Lampung.
- [5] Kholifah K, 2012, *Uji Kemampuan Scenedesmus Sp. sebagai Bioremediator Limbah Cair Tapioka*, Skripsi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang, Malang.
- [6] Isdiyanto, R., Hasanudin U., 2010, *Rekayasa dan Uji Kinerja Reaktor Biogas Sistem Colar pada Pengolahan Limbah Cair Industri Tapioka*, Jurnal Ketenagalistrikan dan Energi Terbarukan, Vol. 9, No. 1, 14–26.
- [7] Kurniawan, M.F.C., 2009, *Pemanfaatan Limbah Cair Tapioka Untuk Penghasil Biogas Skala Laboratorium*, Tesis, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- [8] Vegantara, D.A., 2009, *Pengolahan Limbah Cair Tapioka Menggunakan Kotoran Sapi Perah dengan Sistem Anaerobik*, Skripsi, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- [9] Hasanudin, U., 2006, *Present Status and Possibility Biomass Effective use in Indonesia*, Proceeding Seminar Sustainable Society Achievement by Biomass Effective Use, 24-25.
- [10] Wintolo, M., Isdiyanto, R., 2011, *Prospek Pemanfaatan Biogas dari Pengolahan Air Limbah*, Jurnal Ketenagalistrikan dan Energi Terbarukan, Vol. 10, No. 2, 103–112.
- [11] Aprizal, D., 2011, *Potensi Pemanfaatan Limbah di Industri Tapioka Rakyat Terpadu*, Tesis Universitas Lampung, Bandar Lampung.
- [12] Agung, T., Winata, H. S., 2011, *Pengolahan Air Limbah Industri Tahu dengan Menggunakan Teknologi Plasma*, Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan, Vol. 2, No. 2, 19–28.
- [13] Ginting, N., 2007, *Penuntun Praktikum Teknologi Pengolahan Limbah Peternakan*, Universitas Sumatra Utara.
- [14] Megawati, M., 2014, *Pengaruh Penambahan EM-4 (Effective Microorganism-4) pada Pembuatan Biogas dari Eceng Gondok dan Rumen Sapi*, Jurnal Bahan Alam Terbarukan, Vol. 3, No. 2, 42–49.
- [15] Hamdi, R.R., Nurrokhim, A., Suwarno, N., Nurkhamidah, S., 2013, *Produksi Biogas dari Limbah Cair Industri Tepung Tapioka dengan Reaktor Anaerobik 3.000 Liter Berdistributor*, Jurnal Teknik Pomits, Vol. 2, No. 1, 1–5.
- [16] Kholiq, M.A., 2017, *Mengenal Tipe-Tipe Reaktor Biogas*, Pusat Teknologi Sumber Daya Energi dan Industri Kimia.
- [17] Putra, G.M.D., Abdullah S. H., Priyati, A., Setiawati, D.A., Muttalib, S.A., 2017, *Rancang Bangun Reaktor Biogas Tipe Portable dari Limbah Kotoran Ternak Sapi*, Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian dan Biosistem, Vol. 5, No. 1, 369–374.
- [18] Ribas, M.M.F., Barana, A.C., 2003, *Start-Up Adjustment of A Plug-Flow Digester for Cassava Wastewater (Manipueira) Treatment*, Scientia Agricola, Vol. 60, No. 2, 223-229.
- [19] Prasetiyadi, P., 2018, *Teknologi Pengolahan Biogas Limbah Tahu dengan Fixed Bed Reactor*, Prosiding Seminar Nasional dan Konsultasi Teknologi Lingkungan, Jakarta, 109-114.
- [20] Hermanto, H., Susanty, A., 2012, *Produksi Biogas dari Limbah Kelapa Sawit Menggunakan Bioreaktor Up-Flow Anaerobik Sludge Blanket (UASB)*, Jurnal Riset Teknologi Industri, Vol. 6, No. 12, 11–19.
- [21] Alaerts, G., Santika, S. S., 1987, *Metode Penelitian Air*, Usaha Nasional, Surabaya.